

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**
ГОУВПО
Донецкий национальный технический университет
ДонНТУ
Кафедра охраны труда и аэрологии

Электробезопасность горного производства

Конспект лекций

Для студентов технических специальностей
дневной и заочной форм обучения

РАССМОТРЕНО

на заседании кафедры
охраны труда и аэрологии
протокол № 9 от 12.04.2016 г.

Донецк
2016

УДК 331.45

Лекции по дисциплине «Электробезопасность горного производства» предназначены для студентов технических специальностей дневной и заочной форм обучения Донецкого национального технического университета (ДонНТУ). Лекции составлены в соответствии с требованиями учебного плана кафедры «Охрана труда и аэрология» университета. При составлении лекций использованы литературные источники, законодательная нормативно-техническая документация по профилю знаний.

Составитель: В.Л. Овчаренко – Донецк, ДонНТУ, 2016 г. – 157 с.

Рецензент: проф. д.т.н. Ю.Ф. Булгаков

Содержание

Лекция 1. Общие вопросы электробезопасности горных предприятий. Категории надежности электроприемников _____	4
Лекция 2. Проблемы производственного электротравматизма _____	15
Лекция 3. Причины электротравм и профилактика поражения электрическим током _____	26
Лекция 4. Защитное отключение, заземление и зануление – эффективные средства защиты от поражения электрическим током _____	37
Лекция 5. Системы защитного заземления _____	48
Лекция 6. Заземление нейтрали – необходимая мера обеспечения защиты при прикосновении к корпусу зануленного оборудования _____	53
Лекция 7. Исполнение электрооборудования общепромышленного применения _____	63
Лекция 8. Особенности рудничного электрооборудования _____	69
Лекция 9. Защита электроустановок в аварийных режимах и режимах эксплуатации _____	85
Лекция 10. Повышение безопасности использования электроустановок _____	93
Лекция 11. Опасность возникновения пожаров, взрывов от электрического в подземных выработках _____	103
Лекция 12. Основы искробезопасности электрических сетей _____	110
Лекция 13. Понятие о коммутации. Классификация, основные параметры и узлы коммутационных аппаратов _____	115
Лекция 14. Электромагнитные поля, излучения, нормировании защиты _____	125
Лекция 15. Молниезащита _____	135
Лекция 16. Оказание первой доврачебной медицинской помощи пострадавшим от электрического тока _____	140
Лекция 17. Основные правила оказания первой помощи _____	146
Литература _____	153
Вопросы к проведению зачёта _____	154

**Общие вопросы электробезопасности горных предприятий.
Категории надежности электроприемников.**

1.1. Введение

Электрификация горных предприятий имеет важное значение как основная энергетическая база комплексной механизации и автоматизации горных работ. Современные шахты, рудники, карьеры - это крупные потребители электрической энергии [1].

Дальнейшее развитие приобретают также подземные способы добычи полезных ископаемых на базе использования высокопроизводительных комплексов. Электрические нагрузки современных угольных шахт составляют от 20 до 70 МВт. Энерговооруженность шахт возрастает с увеличением глубины разработки и внедрением нового автоматизированного оборудования более высокого технического уровня по добыче и доставке ископаемого [1]

Широкое распространение получил наиболее эффективный открытый способ добычи полезных ископаемых на основе использования прогрессивной технологии и горнотранспортного оборудования большой единичной мощности. Увеличение части открытых работ в общем объеме добычи сырья позволяет существенно повысить основные технико-экономические показатели, улучшить условия работы, почти полностью избавиться от ручного труда. Добыча сырья открытым образом представляет собой энергоемкий технологический процесс. Мощность электроприемников отдельных горнообогатительных комбинатов (ГЗК) достигает 300 МВт и больше.

Подавляющее большинство шахтных машин и механизмов приводится во вращение асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором. Условия их эксплуатации значительно отличаются от условий эксплуатации двигателей общего назначения, но не только из-за особенностей окружающей среды, а вследствие специфики технологических процессов в шахте, нестабильности нагрузки, большого разнообразия режимов работы отдельных

машин и механизмов, значительных колебаний напряжения в участковой электрической сети при пуске мощного двигателя комбайна. Указанные обстоятельства обусловили необходимость создания (кроме рудничных двигателей общего применения) также специализированных двигателей для привода конкретных машин: очистных и проходческих комбайнов, скребковых конвейеров, погрузочных машин, шахтных маневровых лебедок и др.

Специфика горной электротехники проявляется также в вопросах электроснабжения, например в том, что один из 10–12 двигателей, питающихся от трансформаторной участковой подстанции, соизмерим по мощности с трансформатором.

Одно из основных условий эффективного использования нового шахтного оборудования – применение безопасных и экономичных систем электроснабжения, обеспечивающих высокое качество электроэнергии на участках шахт.

Для безотказной, эффективной и безопасной эксплуатации рудничного электрооборудования большое значение имеют квалификация и качество подготовки обслуживающего персонала [1].

Возрастает мощность горно-обогатительных комплексов. Установленная мощность оборудования современных обогатительных фабрик достигает 150 - 200 МВт.

1.1. Общие сведения о электробезопасности в горной промышленности

Основные понятия и определения [2, 3]

Электробезопасность - система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от опасного и вредного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля электростатических разрядов.

Организационные мероприятия по электробезопасности - правильная организация и внедрение безопасных методов работ; обучение и инструктаж электротехнического персонала; контроль и надзор за выполнением правил техники безопасности, приемов работы; механизация автоматизация технологических процессов.

Технические мероприятия по электробезопасности - обеспечение нормальных метеорологических условий в рабочей зоне, нормированной освещенности, применение необходимых защитных мер и средств; применение безопасных ручных электрических машин(электроинструмента), а также ограждений, блокировок коммутационных электроаппаратов, контрольно-измерительных приборов, спецодежды, спецобуви и др.

Травма, вызванная воздействием на организм электрического тока или электрической дуги, называется электротравмой.

Электротравмы возможны в результате непосредственного контакта человека с токоведущими частями электроустановки, а также в случаях прикосновения к металлическим конструктивным нетоковедущим частям электрооборудования, изоляция которого нарушена и имеет место замыкание токоведущих частей на корпус.

Прикосновение человека к токоведущим частям электроустановки может быть двухфазным (двухполюсным) и однофазным(однополюсным).

Электрическим замыканием на землю называется случайное электрическое соединение токоведущей части электроустановки непосредственно с землей, нетоковедущими проводящими конструкциями или предметами, не изолированными от земли.

Зона растекания тока замыкания на землю - зона, за пределами которой электрический потенциал обусловленный токами замыкания, может быть условно принят равным нулю.

Напряжением относительно земли при замыкании на корпус называется разность потенциалов между этим корпусом и зоной нулевого потенциала.

В отношении воздействия на человека различают значения тока:

пороговый осязаемый ток - наименьшее значение осязаемого тока;

пороговый неотпускающий ток - наименьшее значение не отпускающего тока;

пороговый фибрилляционный ток - наименьшее значение фибрилляционного тока.

Напряжение прикосновения - напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек.

Напряжение шага - напряжение между двумя точками цепи тока находящимися одна от другой на расстоянии шага, на которых стоит человек (на земле, на полу и т. д.).

Заземление - преднамеренное электрическое соединение с заземляющим устройством частей электроустановки, нормально не находящихся под напряжением.

Малое напряжение - номинальное напряжение не более 42 В, применяемое в целях уменьшения опасности поражения электрическим током.

Воздействие электрического тока на организм человека

Электрический ток, проходя через тело человека, производит тепловое, химическое и биологическое воздействие, тем самым нарушая нормальную жизнедеятельность.

Химическое действие тока ведет к электролизу крови и других содержащихся в организме растворов, что приводит к изменению их химического состава и, следовательно, к нарушению их функций.

Биологическое действие электрического тока проявляется в опасном возбуждении живых клеток организма, в частности, нервных клеток и всей нервной системы. Такое возбуждение может сопровождаться судорогами, явлениями паралича. В ряде случаев возможен паралич дыхательного аппарата (паралич мышц грудной клетки) и паралич сердца (мышц желудочков сердца), являющийся причиной смертельного исхода. Прекращение работы сердца под действием электрического тока может быть в результате непосредственного действия тока на сердечную мышцу, когда ток проходит через область сердца, или рефлекторным - вследствие нарушения функции центральной нервной системы.

Степень поражения человека и тяжесть электрического удара зависят главным образом от значения тока, проходящего через тело человека, пути тока в теле человека и длительности его прохождения. Зависимость допустимых для человека значений токов от продолжительности воздействия приведена на рисунке.

1.1. Классификация электроустановок [3]

Электроустановки в отношении мер безопасности разделяются на:
электроустановки напряжением выше 1000В с глухозаземленной нейтралью (с большими токами замыкания на землю);

электроустановки напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью (с малыми токами замыкания на землю);

электроустановки напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью;

электроустановки напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью.

Электромашиными помещениями (ЭМП) называются помещения, в которых совместно могут быть установлены электрические генераторы, вращающиеся или статические преобразователи, электродвигатели, трансформаторы, распределительные устройства, щиты и пульты управления, а также относящееся к ним вспомогательное оборудование, обслуживание которых производится специальным электротехническим персоналом.

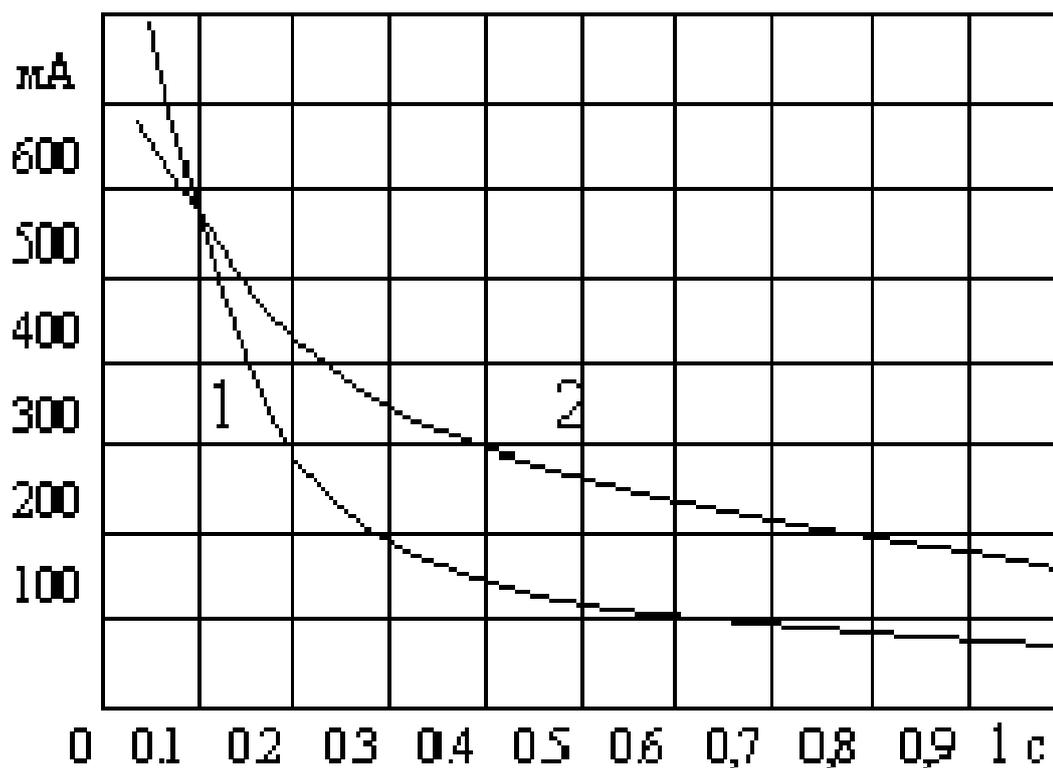


Рис.1. Зависимость допустимых для человека значений токов от продолжительности воздействия:

- 1 - переменный ток 50 Гц;
- 2 - постоянный ток.

Общие требования к ЭМП изложены в Правилах устройства электроустановок.

В отношении опасности поражения людей электрическим током все помещения (в том числе и электро помещения) разделяются на следующие виды:

а) помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырости или проводящей пыли, токопроводящих полов (металлических, земляных, железобетонных, кирпичных и т. п.), высокой температуры, возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т. п. с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой;

б) особоопасные помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости; химически активной среды; одновременного наличия двух или более условий повышенной опасности (п. «а»);

в) помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную опасность и особую опасность (п. «а» и «б»).

В зависимости от назначения устройства и характера окружающей среды следует применять напряжения согласно таблицы.

Таблица. Напряжения сети в зависимости от назначения устройства и характера окружающей среды

12	Для ручных светильников и электрифицированного ручного инструмента - в помещениях, особо опасных
36 и 42	Для тех же целей - в помещениях с повышенной опасностью, а также для стационарных светильников, подвешенных ниже 2,5 м над полом - в помещениях особо опасных и с повышенной опасностью.
65	Для сварочных работ.
220	Для стационарных осветительных установок.
220, 380, 660	Для электропривода и других технических целей.

В производственных помещениях допускается применение напряжения до 1000 В при условии, что электрооборудование имеет защищенное исполнение. Применение напряжения выше 1000 В допускается, если оборудование имеет закрытое исполнение или специальные ограждения, для снятия которых необходим инструмент, или при снятии ограждений автоматически снимается напряжение с токоведущих частей.

1.2. Категории электроприемников по надежности электроснабжения

Необходимый уровень бесперебойности работы технологических установок и, соответственно, уровень бесперебойности питания потребителей электрической энергией регламентируется Правилами устройства электроустановок (ПУЭ). При этом все электроприемники делятся на три категории. ПУЭ дают лишь общие принципиальные рекомендации по надежности электроснабжения, эти требования детализируются и конкретизируются в отраслевых нормативных документах [2, 3].

1. К электроприемникам первой категории принадлежат такие, которые при перерыве в питании могут вызвать угрозу для жизни человека, повреждение главного дорогого оборудования, значительный убыток народному хозяйству, массовый недостаток продукции, разлад сложного технологического процесса. Перерыв в электроснабжении этих потребителей может быть лишь на время автоматического ввода резервного питания (АВР).

На добыче полезных ископаемых открытым способом к электроприемникам первой категории относят: водопонижающее и водоотливное оборудование; машины, которые используются на вскрышных работах на участках гидромеханизации; дренажные шахты; противопожарные насосы промплощадки; котельные; АТС и ЭВМ [6.7].

На шахтах и рудниках к электроприемникам первой категории относят [5]:

- клетевой подъем с собственными нуждами; вентилятор главного проветривания для шахт третьей категории и сверхкатегорийных по газу;
- вентиляторы главного проветривания негазовых шахт, шахт первой, второй категорий и главные вентиляторных установки на отдельных блоках, для которых возможно резервное питание от распределительных пунктов других установок (АВР);
- компрессорные станции, если основной энергией является пневматическая энергия;
- оборудование для дегазации угольных пластов; главный водоотлив;
- центральные подземные подстанции (ЦПП);
- магистральные перекачные угленасосные станции (гидротранспорт);
- гидроподъем, совмещенный с водоотливом; противопожарные насосы; канатная пассажирская дорога; АТС;
- ЭВМ.

На стройплощадках метрополитенов и других подземных сооружений к потребителям первой категории относят:

- главные вентиляционные установки;
- главный водоотлив (его можно отнести к потребителям второй категории при наличии соответствующего водосборника);
- кессонные работы.

Из состава электроприемников первой категории ПУЭ [4] рекомендуется выделить особую группу электроприемников, работа которых необходима для безаварийной остановки производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждений дорогого оборудования.

Питание электроприемников первой категории предполагается от двух независимых источников [17] Независимыми источниками питания могут быть две секции или системы шин одной или двух электростанций или подстанций при выполнении следующих условий:

- каждая из секций или систем шин имеет питание от независимого источника;
- системы шин не соединены между собой, или имеют связь, которая автоматически выключается при нарушении нормальной работы одной из секций шин.

Для обеспечения надежного питания электроприемников особой группы, должен быть третий независимый источник питания, в качестве которого используются местные электростанции, электростанции энергосистемы (шины генераторного напряжения), специальные агрегаты беспереывного питания, аккумуляторы, дизельные электростанции.

При выходе из строя одного из двух независимых источников питания, третий должен немедленно готовиться для автоматического резервирования электроприемников особой группы на случай выхода из строя второго источника. Третий независимый источник, как правило, является источником ограниченной мощности, так как предназначен лишь для безаварийной остановки производства после того, как главные источники питания будут отключены.

1.3.К электроприемникам второй категории относят:

- приёмники, перерыв в электроснабжении которых связан с массовым недопроизводством продукции, прогулами рабочих, простоями механизмов, транспорта;

- перерыв в электроснабжении этой группы возможен на время, необходимое для включения резервного питания;
- электроприемники второй категории рекомендуется снабжать электроэнергией от двух независимых источников;
- при наличии централизованного резерва трансформаторов и возможности изменения поврежденного трансформатора за время до одних суток, возможно питание электроприемников второй категории от одного трансформатора.

На открытых работах к электроприемникам второй категории относят:

- машины на добычных работах;
- электрифицированный железнодорожный или конвейерный транспорт;
- компрессоры;
- технологический комплекс промплощадки.

На шахтах и рудниках к потребителям второй категории относят:

- скиповые подъемы с собственными нуждами; грузовые канатные дороги;
- компрессоры;
- участковый водоотлив с дебитом воды свыше 50 м³ в час;
- водоотливы зумпфов;
- объекты строительства шахт.

На строительных площадках метрополитена и других подземных сооружений, к электроприемникам второй категории относят:

- на поверхности: компрессоры установки (кроме кессонов);
- водоотлив (водопонижающие насосные,);
- калориферные станции, подъемные машины;

в подземных выработках:

- электровозный транспорт;
- участковый водоотлив, вентиляцию, освещение.

К электроприемникам третьей категории относят:

- все другие потребители.

Перерыв в обеспечении их электроэнергией возможен на время, определяемое, исходя из условий экономической рентабельности предприятия.

На открытых работах электроприемниками третьей категории являются:

- машины, которые используются на вскрышных работах и отвалах;
- освещение дорог; транспорт породы;

- админбыткомбинат;
- механические мастерские;
- автогаражи;
- освещение промплощадки и зданий.

На шахтах и рудниках электроприёмниками третьей категории являются:

- грузовая канатная дорога;
- преобразовательные агрегаты электровозной откатки;
- скреперные установки на подготовительных и добычных работах;
- освещение зданий;
- промышленных площадок; механическая мастерская;
- админбыткомбинат.

На стройплощадках метрополитена и туннелей электроприёмниками третьей категории есть:

- здания производственно-бытового назначения;
- механизация работ на поверхности;
- замораживание грунтов; скиповый подъем;
- освещение.

В подземных выработках потребителей третьей категории нет.

При питании мощных экскаваторов на карьерах есть некоторые разногласия.

На раскрытии, отвалообразовании и рекультивации, **экскаваторы** являются **потребителями третьей категории**. В то же время они являются важным звеном технологического процесса и перерыв у них электроснабжения вызывает разлад технологического процесса со значительным убытком (массовая недоотгрузка горной массы, простой технологически связанных машин и агрегатов). Поэтому продолжительные перерывы в электроснабжении (по времени) для этих экскаваторов нецелесообразны. Учитывая это, все **экскаваторы нужно относить к потребителям второй категории, при этом обязательное наличие резервного источника питания.**

Как известно, у потребителей второй категории перерыв в питании возможен на время включения резерва очередным персоналом или выездной оперативной бригадой. Но на современных карьерах работы выполняются на большой территории, в условиях местности с разным рельефом, движение по которой сопряжено с определёнными трудностями. В связи с этим карьерные подстанции во многих случаях работают без очередного персонала. Поэтому на карьерных линиях напряжением выше 1000 В необходи-

мо использовать на подстанциях комплектные распределительные устройства (КРУ) с системами автоматического включения резерва (АВР), как средства повышения надежности электроснабжения, а также системы автоматического повторного включения (АПВ) в случаях его аварийного или кратковременного отключения. Для работы КРУ [1]

в режиме АПВ кнопку его включения устанавливают в положение «Вкл. АПВ». Устройство АПВ включается при срабатывании максимальной токовой защиты или при кратковременном (до 3 мин) прекращении подачи электроэнергии в том случае, когда конденсатор этого устройства зарядится до необходимого уровня включения реле отсчета времени до подачи напряжения и включения КРУ. После этого Устройство АПВ возвращается в исходное положение. На этом цикл АПВ заканчивается.

Проблемы производственного электротравматизма

1.2. Действие электрического тока на организм человека Электрические параметры тела человека

Электрическое сопротивление тела человека представляет собой многообразный комплекс биофизических, биохимических и физиологических явлений. При попадании под напряжение человек становится неоднородной полупроводящей структурой. Нелинейность электрического сопротивления непостоянна и для каждой ткани и органа различна. Если рассматривать удельные сопротивления различных органов, то они оказывают различные сопротивления току. Так, удельное сопротивление сухой чистой кожи рук при протекании тока промышленной частоты (50 Гц) составляет от $(3-20) \cdot 10^3$ Ом·м.[9-11].

Таким образом, кожа обладает наибольшим удельным сопротивлением, что является главным фактором, определяющим сопротивление всего тела человека. Кожа состоит из двух основных слоев: наружного, называемого эпидермисом, и внутреннего, называемого дермой. Наружный слой кожи (эпидермис) имеет несколько слоев, из которых самый верхний называется роговым. Роговой слой лишен кровеносных сосудов и нервов. Кроме того, сопротивление тела человека может изменяться от ряда физиологических факторов и влияния окружающей среды.

Если рассматривать двухполюсное прикосновение человека к токоведущим частям, то тело человека условно можно рассматривать как часть электрической цепи, состоящей из трех последовательных участков: кожа – внутренние органы и ткани – кожа.

Сопротивление участка цепи, представленного слоем кожи, обладает не только активной составляющей, но и из-за тонкого рогового слоя кожи, являющегося диэлектриком, имеет емкостную составляющую.

Таким образом, полное сопротивление тела человека, Ом, при любой частоте

$$Z_f = 2Z_k + R_{вн},$$

где Z_k – полное сопротивление наружного слоя кожи, Ом;

$R_{вн}$ – внутреннее сопротивление тела человека, Ом. Полное сопротивление наружного слоя кожи может быть определено из формулы

$$1/Z_k = 1/R_k + 1/X_k,$$

где R_k – активное сопротивление наружного слоя кожи, Ом;

X_k – емкостное сопротивление наружного слоя кожи, Ом. Емкостное сопротивление X_k изменяется в зависимости от частоты по формуле

$$X_k = 1/(\omega C) = 1/(2\pi fC),$$

где ω – круговая или циклическая частота, рад/с;

f – частота тока, Гц;

C – емкость наружного слоя кожи, Ф.

Электрическая емкость C наружного слоя кожи пропорциональна площади поверхности соприкосновения S с токоведущей частью и обратно пропорциональна толщине рогового слоя кожи d .

$$C = \epsilon_0 \epsilon S/d,$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная, равная $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость рогового слоя кожи, равная 200-250.

Из анализа формулы для вычисления X_k следует, что с увеличением частоты емкостное сопротивление уменьшается и шунтирует активное сопротивление наружного слоя кожи R_k . Следовательно, при больших частотах порядка 5-20 кГц полное сопротивление можно считать равным внутреннему сопротивлению тела человека.

C уменьшением частоты емкостное сопротивление возрастает, вследствие чего на частотах от 20 до 500 Гц емкостной составляющей можно пре-

небрежь. В этом случае полное сопротивление тела человека Z_k рассчитывается как

$$Z_k = 2R_k + R_{\text{вн}}.$$

Таким образом, вследствие значительного сопротивления кожи наблюдаются чаще всего поверхностные ожоги.

Факторы, влияющие на исход поражения человека электрическим током

Тяжесть поражения электрическим током зависит от целого ряда факторов: значения силы тока, электрического сопротивления тела человека и длительности протекания через него тока, рода и частоты тока, индивидуальных свойств человека и условий окружающей среды.

Основным фактором, обуславливающим ту или иную степень поражения человека, является сила тока (путь: рука – рука, рука – ноги).

В табл. 2.1 приведены данные по опасности переменного и постоянного тока [4, 5].

Таблица 2.1. Опасность переменного тока

Род тока	Пороговый осязаемый ток, мА	Пороговый неотпускающий ток, мА	Пороговый фибрилляционный ток, мА
Переменный ток частотой 50 Гц	0,5-1,5	6-10	80-100
Постоянный ток	5-7	50-80	300

Фибрилляцией называется хаотические и разновременные сокращения волокон сердечной мышцы, полностью нарушающие ее работу как насоса. (Для женщин пороговые значения тока в 1,5 раза меньше, чем для мужчин.)

Постоянный ток примерно в 4-5 раз безопаснее переменного тока частотой 50 Гц. Однако это характерно для относительно небольших напряжений (до 250-300 В). При более высоких напряжениях опасность постоянного тока возрастает.

В интервале напряжений 400-600 В опасность постоянного тока практически равна опасности переменного тока с частотой 50 Гц, а при напряжении более 600 В постоянный ток опаснее переменного.

Электрическое сопротивление тела человека. Электрическое сопротивление организма человека при сухой, чистой и неповрежденной коже при напряжении 15-20 В находится в пределах от 3000 до 100 000 Ом, а иногда и больше. С удалением верхнего слоя кожи сопротивление снижается до 500-700 Ом. При полном удалении кожи сопротивление внутренних тканей тела составляет всего лишь 300-500 Ом. В расчетах принимают сопротивление организма человека, равное 1000 Ом.

При наличии на коже различных повреждений (потертостей, порезов, ссадин) резко уменьшается ее электрическое сопротивление в этих местах.

Электрическое сопротивление организма человека падает при увеличении тока и длительности его прохождения вследствие усиления местного нагрева кожи, что приводит к расширению сосудов, а следовательно, к усилению снабжения этого участка кровью и увеличению выделения пота.

С повышением напряжения, приложенного к телу человека, сопротивление кожи уменьшается, а следовательно, и полное сопротивление тела, которое приближается к своему наименьшему значению 300-500 Ом. Это объясняется пробоем рогового слоя кожи, увеличением тока, проходящего через нее, и другими факторами.

Сопротивление тела человека зависит от пола и возраста людей: у женщин это сопротивление меньше, чем у мужчин, у детей – меньше, чем у взрослых, у молодых людей меньше, чем у пожилых. Это объясняется толщиной и степенью огрубления верхнего слоя кожи. Кратковременное (на несколько минут) снижение сопротивления тела человека (20-50%) вызывает внешние, неожиданно возникающие физические раздражения: болевые (удары, уколы), световые и звуковые.

На электрическое сопротивление влияют также род тока и частота его. При частотах 10-20 кГц верхний слой кожи практически утрачивает сопротивление электрическому току.

Кроме того, есть особенно уязвимые участки тела к действию электрического тока. Это так называемые акупунктурные зоны (область лица, ладони и др.) площадью 2-3 мм². Их электрическое сопротивление всегда меньше электрического сопротивления зон, лежащих вне акупунктурных зон.

Длительность протекания тока через тело человека очень сильно влияет на исход поражения в связи с тем, что с течением времени падает сопротивление кожи человека, более вероятным становится поражение сердца.

Путь тока через тело человека также имеет существенное значение. Наибольшая опасность возникает при непосредственном прохождении тока через жизненно важные органы. Статистические данные показывают, что число травм с потерей сознания при прохождении тока по пути правая рука – ноги составляют 87%; по пути нога – нога 15%. Наиболее характерные цепи тока через человека: рука – ноги, рука – рука, рука–туловище (соответственно 56,7; 12,2 и 9,8% травм). Более опасными считаются те цепи тока, при которых вовлекаются обе руки – обе ноги, левая рука – ноги, рука – рука, голова – ноги.

Род и частота тока также влияют на степень поражения. Наиболее опасным является переменный ток частотой от 20 до 1 000 Гц. Переменный ток опаснее постоянного, но это характерно только для напряжений до 250-300 В; при больших напряжениях становится опаснее постоянный ток. С повышением частоты переменного тока, проходящего через тело человека, полное сопротивление тела уменьшается, а проходящий ток увеличивается. Однако уменьшение сопротивления возможно лишь в пределах частот от 0 до 50-60 Гц. Дальнейшее же повышение частоты тока сопровождается снижением опасности поражения, которая полностью исчезает при частоте 450-500 кГц. Но эти токи могут вызывать ожоги как при возникновении электрической дуги, так и при прохождении их непосредственно через тело человека. Снижение опасности поражения током с повышением частоты практически заметно при частоте 1000-2000 Гц.

Индивидуальные свойства человека и состояние окружающей среды оказывают заметное влияние на тяжесть поражения.

2.2. Виды поражения человека электрическим током [9, 13, 16]

Необходимо помнить, что при поражении током, нормальная работа сердца не восстанавливается самая по себе. Но прекращение дыхания и сердцебиения ещё не означает наступление действительной смерти. Это может быть **шок или клиническая смерть**, которая может длиться 7...8 минут. Это не может быть причиной отказа от предоставления помощи. Необходимо делать косвенный массаж сердца и искусственное дыхание. Эти меры являются обязательными перед приходом врача. Только врач может констатирует

смерть. Такая травма называется **электрическим ударом** и часто имеет место при воздействии небольших токов.

Кроме этой травмы существуют другие электротравмы: **ожоги, электрические знаки, электрометаллизация кожи**. Ожоги имеют место как при непосредственном прохождении тока через тело человека, так и без прохождения, например: при расплавлении плавких вставок предохранителей, от разлетающихся частиц расплавленного металла, от прикосновения до сильно нагретых частей электрооборудования. Более серьезные ожоги бывают от электрической дуги, особенно в сетях напряжением выше 1000 В. Кратковременное прохождение большого тока, как правило, не сопровождается электрическим ударом, но есть часто достаточным, чтобы вызвать серьезные, возможно смертельные, ожоги.

Электрические знаки за внешним признаком представляют собой припухлость на поверхности кожи круглой или эллипсоидной формы с резко очерченной каймой. Особенностью электрического знака является безболезненность, но следствия такой травмы могут быть серьезными (мумификация, отторжение).

Электрометаллизация заключается в поверхностном проникновении частичек металла в кожу. Следствия травмы зависят от пораженной поверхности как и при ожогах. Даже при легких электротравмах, за счет действия электрического тока, возможные осложнения: разлад зрения, слуха, искажение вкуса и др. Из более поздних осложнений возможные: стенокардия, инфаркт миокарда, психоневрозы, сахарный диабет и др.

Следствия действия электрического тока на человека, его поражающий эффект определяется разными факторами. Наиболее опасным является переменный ток промышленной частоты 50...60 Гц. Это обусловлено его способностью к подразниванию и возбуждению тканей организма, возбуждению его жизненной функциональной деятельности. Постоянный ток приблизительно в 3...5 раз более безопасный, его действие менее интенсивное и в основном тепловое. Но при напряжении 500 В постоянный ток по опасности не отличается от переменного.

С ростом частоты тока опасное действие переменного тока уменьшается. Опасность тока, который протекает через тело человека, повышается с ростом тока.

В практике проектирования средств защиты безопасное значение тока по продолжительности принято 25 мА при наличии средств автоматической компенсации емкости сети и 30 мА - при её отсутствия.

Чем длительнее действие тока на организм человека, тем больше вероятность опасных следствий его действия и наоборот. Зависимость величины кратковременного безопасного переменного тока от продолжительности его действия на организм может быть представлена формулой американского инженера Дальзиеля:

$$I_{кб} = 0.165 / \sqrt{t} ,$$

где: $I_{кб}$ - кратковременный безопасный ток, А;
 t - время прохождения тока через человека.

На практике используют следующий ряд кратковременных допустимых токов от времени прохождения через тело человека (таблица 1.).

Таблица 1. Ряд кратковременных допустимых токов от времени прохождения через тело человека

T	0,2	0,5	0,7	1	30	30 Более
$I_{кб}$, mA	250	100	75	65	6	1

Действие тока на организм человека зависит также от пути прохождения тока. Очень опасным есть прохождения тока сквозь основные органы жизнедеятельности человека. Важным параметром, который позволяет найти величину впечатляющего тока, есть электрическое сопротивление цепи тока, который протекает через человека. Наиболее вероятными есть пути тока от одной руки к другой и от руки до ноги. Эт наиболее опасные пути, потому что ток проходит через область сердца, основные нервные узлы и др.

Если человек притрагивается к токопроводящим элементам двумя руками:

$$R_c = R_{\text{ч}} + 2R_{\text{с.к.}},$$

где: R_c – сопротивление цепи замыкания, Ом;
 $R_{\text{ч}}$ – сопротивление человека, Ом;
 $R_{\text{с.к.}}$ – переходное сопротивление в месте контакта с токопроводящим элементом установки, Ом.

Для пути тока от руки до ноги:

$$R_c = R_{\text{ч}} + R_{\text{с.к}} + R_{\text{об}} + R_{\text{рт}},$$

где: $R_{\text{рт}}$ – сопротивление растеканию тока на землю, Ом,
 $R_{\text{об}}$ – сопротивление обуви, Ом.

Очевидно, что для обеспечения безопасности персонала, используются индивидуальные средства защиты:

- диэлектрические перчатки, которые значительно увеличивают сопротивление $R_{\text{с.к.}}$;
- резиновая обувь ($R_{\text{об}} = 1$ кОм и больше), изоляционные коврики, подставки и другие, которые увеличивают $R_{\text{рт}}$.

При расчете защиты выходят из наиболее опасных случаев, когда все значения сопротивлений приблизительно равняются нулю, то есть $R_c \approx R_{\text{ч}}$.

Многими экспериментальными исследованиями установлено, что величина сопротивления тела человека зависит от многих факторов: приложенного напряжения, частоты, площади контакта с электродами, стана кожного покрытия, места контакта, температуры внешней среды и др.

Самое большое сопротивление имеет кожа человека, а полное сопротивление человека является нелинейной величиной и может быть представленной схемой замещения (рис.1).

Повышение напряжения, приложенного к телу человека, ведет к пробое кожного покрова, в результате чего полное сопротивление человека уменьшается до уровня внутреннего сопротивления человека. Для разработки защиты необходимо знать и уметь оценить хотя бы приблизительно минимальное значение сопротивления человека.

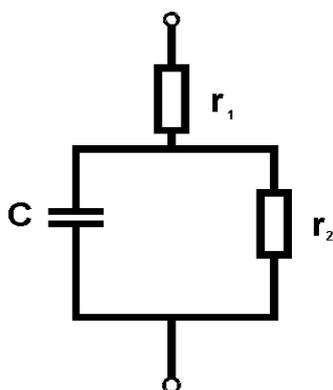


Рис.1. Схема замещения сопротивления человека:

r_1 - сопротивление внутренних органов; r_2 - сопротивление кожного покрова;
 c – емкость, обусловленная кожным покровом.

За минимальное расчетное сопротивление человека принято сопротивление $R_{ч} = 1000$ Ом. Наиболее опасным является прикосновение человека к 2-х фаз, когда к телу человека приложено линейное напряжение сети, тогда ток через человека является опасным, так как:

$$I_{ч} = \sqrt{3} * U_{ф} / R_{ч},$$

где: $I_{ч}$ – ток через человека, А;
 $U_{ф}$ – фазное напряжение, В.

Но человек, к счастью, в большинстве случаев попадает под одну фазу. В этом случае ток через человека зависит от принятого режима нейтрали трансформатора (изолированная она или заземленная).

2.3. Причины электротравм и профилактика поражения электрическим током

Электронасыщенность современного производства формирует электрическую опасность, источником которой могут быть электрические сети, элек-

трифицированное оборудование и инструмент, вычислительная и организационная техника, работающая на электричестве.

Электротравматизм по сравнению с другими видами производственного травматизма составляет небольшой процент, однако по числу травм с тяжелым и особенно летальным исходом занимает одно из первых мест. Наибольшее число электротравм (60-70%) происходит при работе на электроустановках напряжением до 1000 В. Это объясняется широким распространением таких установок и сравнительно низким уровнем подготовки лиц, эксплуатирующих их. Электроустановок напряжением свыше 1000 В в эксплуатации значительно меньше, и их обслуживает специально обученный персонал, что и обуславливает меньшее количество электротравм.

Технические причины электротравм – несоответствие электроустановок, средств защиты и приспособлений требованиям безопасности и условиям применения, связанное с дефектами конструкторской документации, изготовления, монтажа и ремонта; неисправности установок, средств защиты и приспособлений, возникающих в процессе эксплуатации.

Организационно-технические причины – несоблюдение технических мероприятий безопасности, которые должны осуществлять на стадии эксплуатации (обслуживания) электроустановок; несвоевременная замена исправного или устаревшего оборудования и использование установок, не принятых в эксплуатацию в предусмотренном порядке (в том числе самодельных).

Организационные причины – невыполнение или неправильное выполнение организационных мероприятий безопасности, несоответствие выполняемой работы заданию.

Организационно-социальные причины: работа в сверхурочное время (в том числе работа по ликвидации последствий аварий); несоответствие работы специальности; нарушение трудовой дисциплины; допуск к работе в электроустановках лиц моложе 18 лет; привлечение к работе лиц, не оформленных приказом о приеме на работу в организацию; допуск к работе лиц, имеющих медицинские противопоказания.

При рассмотрении причин необходимо учитывать так называемый человеческий фактор. Это как психофизиологические, личностные факторы (отсутствие у человека необходимых для данной работы индивидуальных качеств, нарушение его психологического состояния и проч.), так социально-психологические (неудовлетворительный психологический климат в коллективе, условия жизни и проч.).

2.4. Классификация электроустановок, помещений по электроопасности [4].

Основные требования к устройству электроустановок изложены в действующих Правилах устройства электроустановок от 08.07.2002 № 204. Под электроустановками понимается совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, передачи, распределения и преобразования электрической энергии. Они делятся на электроустановки до 1000 В и свыше 1000 В, причем и те и другие могут эксплуатироваться в сетях с изолированной и заземленной нейтралью.

Изолированной нейтралью называется нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через приборы сигнализации, защиты, контроля и т. п.

Если нейтраль присоединена к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление, то она называется заземленной.

В зависимости от условий, повышающих или понижающих опасность поражения человека электрическим током, все помещения делятся на помещения с повышенной опасностью, особо опасные и без повышенной опасности.

К помещениям с повышенной опасностью относятся помещения с повышенной влажностью (более 75%) или высокой температурой (выше 35 °С). При наличии токопроводящих пыли и полов, а также при наличии возможности одновременного прикосновения к элементам, соединенным с землей, и металлическим корпусам электрооборудования помещение относится к классу повышенной опасности.

Помещения с высокой относительной влажностью (близкой к 100%), химически активной средой или одновременным наличием двух и более условий, соответствующих помещениям с повышенной опасностью, называют особо опасными.

В помещениях без повышенной опасности отсутствуют все вышеуказанные условия.

Однако опасность поражения электрическим током существует всюду, где используются электроустановки, поэтому помещения без повышенной опасности нельзя назвать безопасными.

К особо опасным относятся механические, литейные, кузнечные, сборочные, гальванические, термические и т. п. цехи, компрессорные и водонасосные станции, помещения для зарядки аккумуляторов и т. п. По степени опасности электроустановки вне помещений приравнивают к электроустановкам, эксплуатирующимся в особо опасных помещениях.

Причины электротравм и профилактика поражения электрическим током

3.1. Условия и основные причины поражения электрическим током

Поражение человека электротоком или электрической дугой может произойти в следующих случаях [10, 15]:

- при двухфазном прикосновении, т. е. одновременном прикосновении к двум фазам электроустановки, находящейся под напряжением (рис. 3.1);

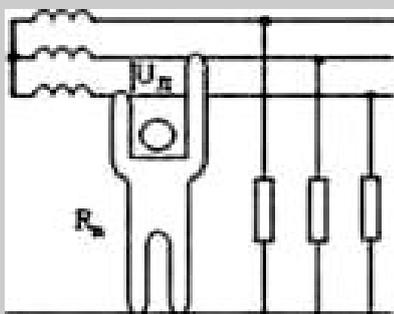


Рис. 3.1. Двухфазное прикосновение; $I_{\text{п}} = U_{\text{л}}/R_{\text{ч}}$;

- при однофазном прикосновении, т. е. прикосновении человека, имеющего гальваническую связь с землей, к одной фазе электроустановки, находящейся под напряжением (рис. 3.2);

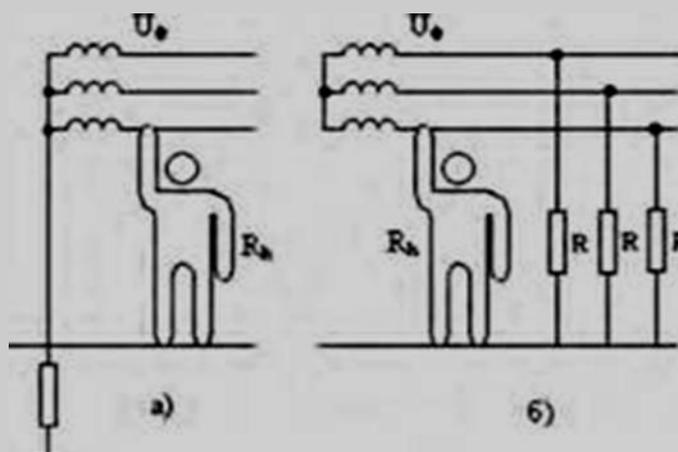


Рис. 3.2. Однофазное прикосновение: а – сеть с заземленной нейтралью; $I_{\text{п}} = U_{\text{ф}}/R_{\text{ч}}$; б – сеть с изолированной нейтралью; $I_{\text{п}} = U_{\text{ф}}/(R_{\text{ч}} + R/3)$

- при прикосновении к нетоковедущим частям электроустановок, находящихся под напряжением, в результате повреждения изоляции, например, к аварийному корпусу (рис. 3.3);

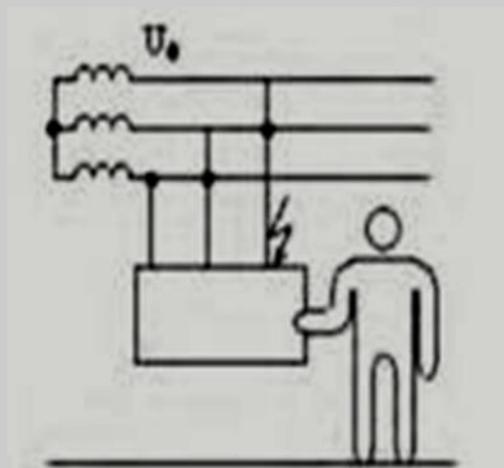


Рис. 3.3. Прикосновение к аварийному корпусу установки;

$$I_h = U_{np} / R_h$$

- включение под напряжение шага, т. е. между двумя точками цепи тока, находящимися друг от друга на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек (рис. 3.4);

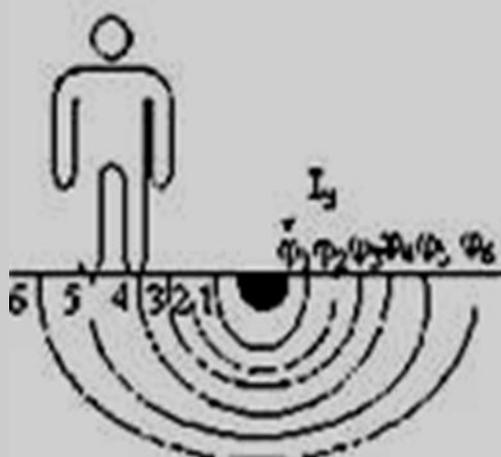


Рис. 3.4. Включение под напряжение шага; $I_h = U_{ш} / R_h$

- при действии атмосферного электричества во время разряда молнии;
- в результате действия электрической дуги;
- при освобождении другого человека, находящегося под напряжением.

Примечание. I_n (I_h) – ток, проходящий через тело человека; R_n (R_h) – со-

противление тела человека; $U_{\text{ф}}$, $U_{\text{л}}$ – фазное и линейное напряжения сети; R – сопротивление проводов сети относительно земли; $U_{\text{пр}}$, $U_{\text{ш}}$ – напряжения прикосновения шага.

Наибольшую опасность представляет двухфазное прикосновение, так как в этом случае человек оказывается под рабочим напряжением сети. Наибольшее же число электротравм связано с однофазным прикосновением человека к токоведущим частям, при этом напряжение, под которым оказывается человек, не превышает фазного напряжения.

3.2. Явления при протекании тока в землю

Стенание тока в землю происходит только через проводник, находящийся в непосредственном контакте с землей. Такой контакт может быть случайным или преднамеренным. В последнем случае проводник или группа соединенных между собой проводников, находящихся в контакте с землей, называется заземлителем.

Причинами стекания тока в землю являются: замыкание токоведущей части на заземленный корпус электрического оборудования, падение провода на землю, использование земли в качестве провода и т. п. Во всех этих случаях происходит резкое снижение потенциала заземлителя φ_3 (т. е. напряжения относительно земли) из заземлившейся токоведущей части до значения, равного произведению тока, стекающего в землю I_3 , на сопротивление, которое этот ток встречает на своем пути, т. е. сопротивление заземлителя R_s растеканию тока

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3.$$

Это явление, весьма благоприятное по условиям безопасности, используется как мера защиты от поражения током при случайном появлении напряжения на металлических нетоковедущих частях, которые с этой целью заземляются. Минимальный потенциал, то есть $\varphi = 0$, будет иметь точка, отстоящая от заземлителя на $x = x_0$. Практически область нулевого потенциала начинается на расстоянии примерно 20 м от заземлителя (рис. 3.5.).

Напряжение прикосновения. Напряжением прикосновения называется напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек. Напряжение прикосновения $U_{\text{пр}}$ или сила тока I , протекающего через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроуста-

новки, не должны превышать следующих значений (табл. 3.1.).

Таблица 3.1.

Род тока	U_{пр} , В, не более	I, мА, не более
Переменный, 50 Гц	2	0,3
Переменный, 400 Гц	3	
Постоянный	8	1

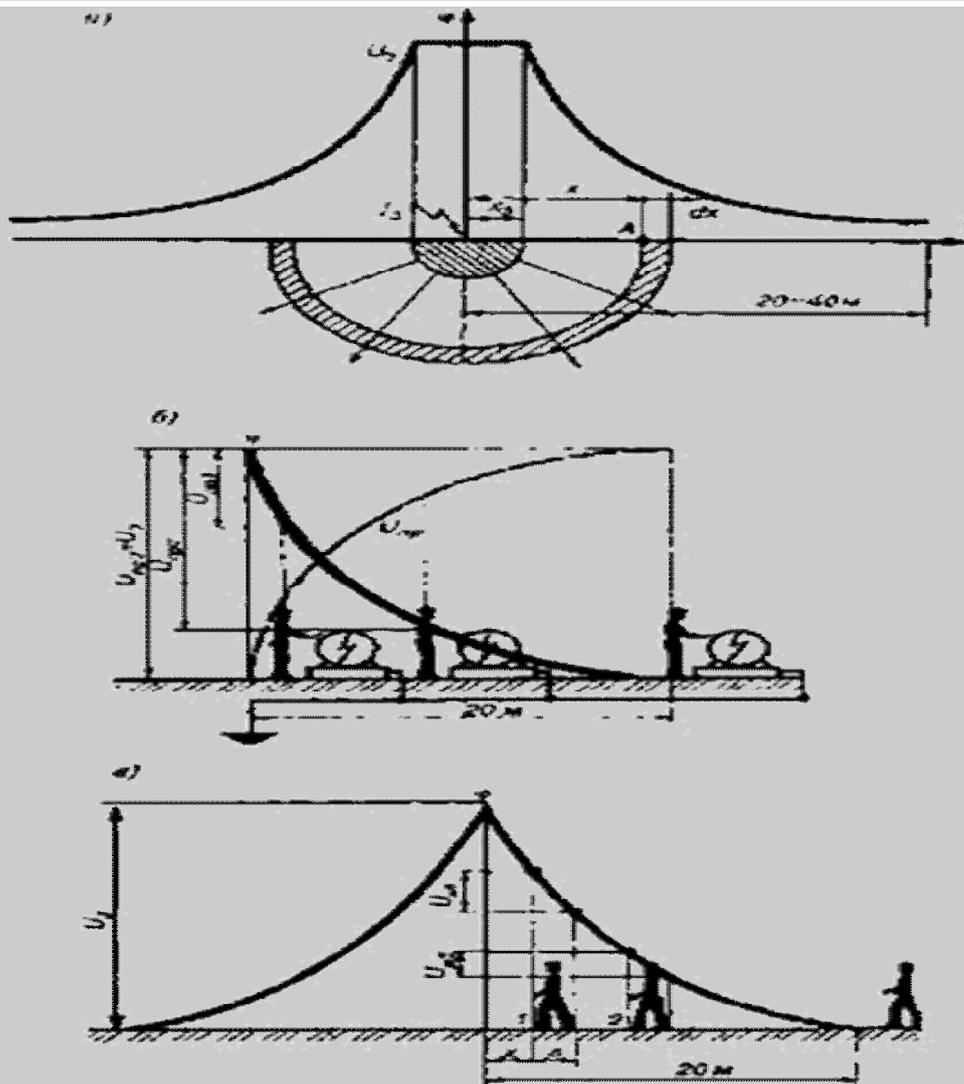


Рис. 3.5. Растекание тока в грунте (а); напряжение прикосновения; $U_{пр} = R_{пр} \cdot U_3$ (б) и напряжение шага; $U_{ш} = U_2 - U_2$ (в)

Шаговое напряжение. Шаговым напряжением называется напряжение между двумя точками цепи тока, находящимися одна от другой на расстоянии шага 0,8 м и на которых одновременно стоит человек. Такой случай может возникнуть, если человек окажется в зоне растекания тока, которая образуется вокруг любого проводника, оказавшегося в земле или на земле.

3.3. Меры защиты от поражения электрическим током

Требования нормативных документов

Согласно требованиям нормативных документов безопасность электроустановок обеспечивается следующими основными мерами:

- 1) недоступностью токоведущих частей;
- 2) надлежащей, а в отдельных случаях повышенной (двойной) изоляцией;
- 3) заземлением или занулением корпусов электрооборудования и элементов электроустановок, могущих оказаться под напряжением;
- 4) надежным и быстродействующим автоматическим защитным отключением;
- 5) применением пониженных напряжений (42 В и ниже) для питания переносных токоприемников;
- 6) защитным разделением цепей;
- 7) блокировкой, предупредительной сигнализацией, надписями и плакатами;
- 8) применением защитных средств и приспособлений;
- 9) проведением планово-предупредительных ремонтов и профилактических испытаний электрооборудования, аппаратов и сетей, находящихся в эксплуатации;
- 10) проведением ряда организационных мероприятий (специальное обучение, аттестация и переаттестация лиц электротехнического персонала, инструктажи и т. д.).

3.4. Средства защиты от поражения током

Электробезопасность на предприятиях должна обеспечиваться инженерно-техническими средствами отдельно или в сочетании друг с другом. К этим средствам относят:

- защитное заземление;
- зануление;
- выравнивание потенциалов;
- малое напряжение;
- электрическое разделение сетей;
- защитное отключение;
- изоляцию токоведущих частей;
- обеспечение ориентации в электроустановках;
- недоступность к токоведущим частям;
- блокировку;
- знаки безопасности.

Инженерно-технические способы и средства защиты, обеспечивающие электробезопасность, должны использоваться с учетом:

• номинального напряжения, рода и частоты тока электроустановки;

• способа электроснабжения (от стационарной сети; автономного источника питания электроэнергией);

• режима нейтрали нулевой точки источника питания электроэнергией (заземленная, изолированная нейтраль);

• вида исполнения (стационарные, передвижные, переносные);

• характеристики помещений по степени опасности поражения электрическим током;

• возможности снятия напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых должна производиться работа;

• характера возможного прикосновения человека к элементам цепи тока (однофазное или двухфазное прикосновение, прикосновения, повышающие вероятность электропоражения). Электрическое разделение сети изолирует электроприемники от общей сети, тем самым предотвращает воздействие на них возникающих в сети токов утечки, емкостных проводимостей, замыканий на землю, последствий повреждения изоляции.

Состояние изоляции токоведущих частей в значительной мере определяет степень безопасности эксплуатации электроустановок.

Состояние изоляции электропроводов характеризуют тремя параметрами: электрической прочностью, электрическим сопротивлением и диэлектрическими потерями.

Электрическую прочность изоляции определяют испытанием над пробой повышенным напряжением, электрическое сопротивление – измерением, а диэлектрические потери – специальными исследованиями.

По правилам устройства электроустановок допустимое сопротивление изоляции между фазными проводами и землей, а также между проводами разных фаз составляет не менее 0,5 МОм (500 000 Ом).

Контроль за состоянием изоляции электропроводов проводят не реже одного раза в три года; профилактические испытания изоляции осуществляют в сроки, установленные ответственным за электрохозяйство на предприятии.

По исполнению изоляция бывает рабочая, дополнительная, двойная и усиленная. Рабочая изоляция токоведущих частей электроустановки обеспечивает защиту от поражения электрическим током. Изоляцию,

применяемую дополнительно к рабочей, называют дополнительной электрической изоляцией. Сочетание рабочей и дополнительной изоляции называют двойной изоляцией. Например, в переносных лампах и ручном электроинструменте применяют двойную изоляцию, состоящую из рабочей изоляции токоведущих частей и дополнительной в виде корпуса, изготовленного из пластмассы, армированной для жесткости. Усиленная изоляция представляет улучшенную рабочую изоляцию, которая обеспечивает такую же степень защиты от поражения электрическим током, как и двойная изоляция.

Нулевым защитным проводником в электроустановках является проводник, соединяющий зануляемые металлические конструктивные части оборудования с глухозаземленной нейтральной точкой источника тока.

Нулевой рабочий проводник также соединен с глухозаземленной нейтральной точкой источника тока, но предназначен для питания током электроприемников, т. е. он является частью цепи рабочего тока и по нему проходит рабочий ток.

Нулевой рабочий проводник должен иметь изоляцию, равноценную изоляции фазных проводников; сечение его должно быть рассчитано, как для фазных проводников, на длительное прохождение рабочего тока.

Нулевой рабочий проводник разрешается использовать одновременно и как нулевой защитный (за исключением приемников однофазного и постоянного тока). В этом случае нулевой рабочий проводник должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к нулевым рабочим и защитным проводникам.

В нулевом рабочем проводнике, если его не используют одновременно как нулевой защитный, допускается ставить предохранители.

Ориентация в электроустановках обеспечивается отличительной окраской. На основании требований Правил устройства электроустановок (ПУЭ) электропроводка должна обеспечивать возможность легкого распознавания проводников по всей длине сети. Голубой цвет используют для обозначения нулевого рабочего проводника; двухцветная комбинация зелено-желтого цвета – для обозначения нулевого защитного проводника; двухцветная комбинация зелено-желтого цвета по всей длине с голубыми метками на концах линии, которые наносят при монтаже, для обозначения совмещенного нулевого рабочего и нулевого защитного

проводников; черный, коричневый, красный, фиолетовый, серый, розовый, белый, оранжевый, бирюзовый цвета применяют для обозначения фазных проводников.

Указанная расцветка проводников (жил кабеля) соответствует международным стандартам и введена для предотвращения ошибочного подключения к корпусу электроприемника фазного проводника вместо нулевого защитного.

Недоступность токоведущих частей электроустановок осуществляют ограждением и расположением их на недоступной высоте.

Ограждения выполняют прочными, негорючими из сплошных металлических листов или сеток с размером ячеек не более 25 x 25 см. Возможны смешанные ограждения из сетки и сплошного листа. Распределительные щиты, щиты управления, релейные щиты, пульта должны иметь ограждения высотой не менее 1,7 м на расстоянии 10 см от токоведущих частей. Наименьшая высота расположения токопроводов в производственных помещениях над уровнем пола или площадки обслуживания должна быть >3,5 м.

Провода воздушных линий электропередачи на территории предприятий и в населенной местности должны располагаться на недосягаемой высоте – от 6 м и выше.

Во многих электроустановках недоступность токоведущих частей достигают применением различного вида блокировок. Блокировка является автоматическим устройством, с помощью которого заграждается путь в опасную зону электроустановки или становится невозможным выполнение неправильных и опасных для жизни действий по переключению коммутационной аппаратуры.

Например, применяют электромагнитную блокировку между разъединителями и выключателями. Она устраняет возможность отключения разъединителя при наличии токов нагрузки в отключаемой цепи. Отсутствие такой блокировки может явиться причиной образования электрической дуги при резком отключении рубильника. Воздействие электрической дуги на организм человека, как правило, приводит к летальному исходу.

Для предупреждения об опасности служат предупредительные плакаты. В соответствии с назначением их разделяют на четыре группы: предостерегающие, запрещающие, разрешающие и напоминающие.

Стационарные предостерегающие плакаты укрепляют на оборудовании.

Переносные предостерегающие плакаты применяют во время ремонтных работ и испытаний.

Переносные запрещающие плакаты вывешивают также при ремонтах.

Переносные разрешающие плакаты выполняют в виде круга на зеленом фоне.

3.5. Меры защиты от поражения электрическим током [9, 10, 12]

Основной фактор поражения при электротравмах – электрический ток. Действие его на организм человека связано с нормально протекающими в организме процессами, сопровождающимися электрическими явлениями. Так, при обмене веществ (основном признаке жизни) в результате происходящих в тканях физико-химических и физических процессов возникает некоторое количество электрической энергии. Раздражения, приносимые в центральную нервную систему с периферии чувствительными нервами, а также раздражения, приносимые к мышцам по двигательным нервам, распространяются в виде биологических токов (биотоков), под действием которых осуществляются двигательные функции мышц.

Механизм действия электрического тока на организм человека можно представить следующим образом. Ток оказывает прямое, непосредственное воздействие на ткани, вызывая непроизвольные судорожные сокращения мышц, и рефлекторное воздействие – через центральную нервную систему, дезорганизуя действие биотоков по всему пути их прохождения. В случае чрезмерного раздражающего действия тока сигналы центральной нервной системы могут вызвать опасную для жизни реакцию организма.

Для защиты человека от поражения электрическим током используются защитное отключение, защитное заземление, зануление и двойная изоляция [1, 12].

Двойная изоляция заключается в одном электроприемнике двух не зависящих одна от другой ступеней изоляции. (Например, покрытия электрооборудования слоем изоляционного материала – краской, пленкой, лаком, эмалью и т. п.) Применение двойной изоляции наиболее рационально, когда в дополнение к рабочей электрической изоляции токоведущих частей корпус электроприемника изготавливается из изолирующего материала (пластмасс, стекловолокна)

Сущность защитного отключения состоит в следующем [2, 10].

Защитное отключение – это быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения электрическим током (рис. 3.4).

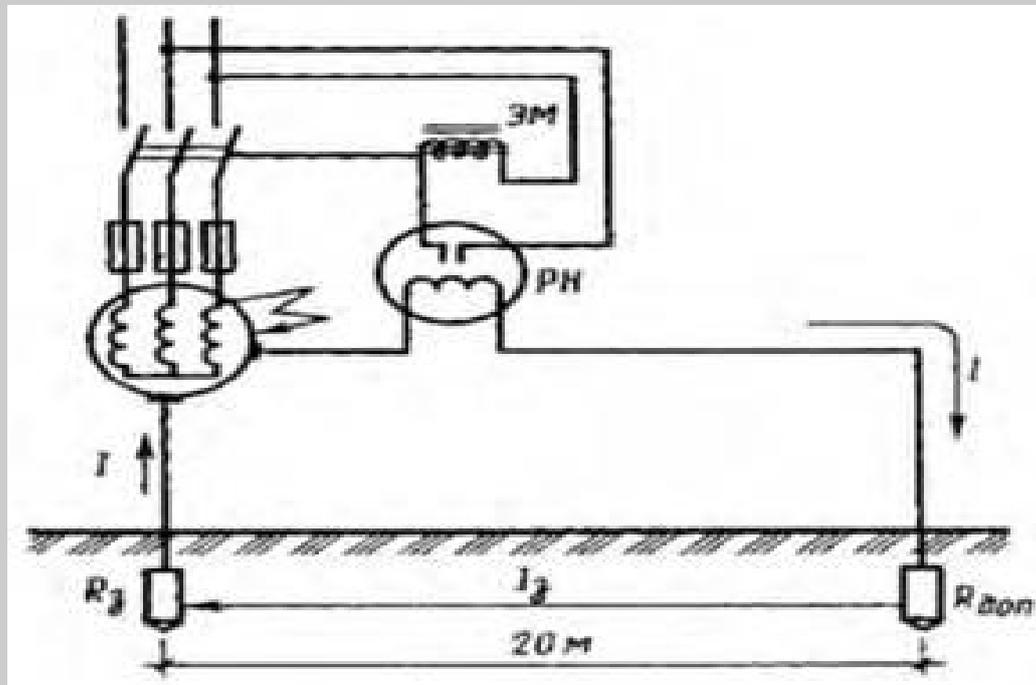


Рис. 3.4. Схема защитного отключения, срабатывающая при появлении напряжения на корпусе электрооборудования

Опасность поражения человека током возможна в следующих случаях:

- при замыкании фазы на корпус электрооборудования;
- при сопротивлении изоляции фаз относительно земли ниже определенного предела, что обусловлено повреждением изоляции, замыканием фазы на землю и проч.;
- при более высоком напряжении в сети (в результате замыкания в трансформаторе между обмотками высшего и низшего напряжений, замыкания между проводами линий разных напряжений и проч.);
- при прикосновении человека к токоведущей части, находящейся под напряжением и т. п.

Защитное отключение должно обеспечить автоматическое отключение электроустановок при однофазном (однополюсном) прикосновении к частям, находящимся под напряжением, не допустимым для человека, и (или) при возникновении в электроустановке тока утечки (замыкания), превышающего заданные значения.

Защитное отключение рекомендуется в качестве основной или дополнительной меры защиты, если безопасность нельзя обеспечить при заземлении или занулении, либо если заземление или зануление трудновыполнимо, либо нецелесообразно по экономическим соображениям. Устройства (аппараты) для защитного отключения в отношении надежности действия должны удовлетворять специальным техническим требованиям.

Устройство защитного отключения (УЗО) имеет основные функциональные элементы: датчик тока утечки, исполнительный орган и коммутационное устройство.

Тип устройства защитного отключения определяется параметром электрической сети, на который оно реагирует: напряжение корпуса относительно земли, ток замыкания на землю, напряжение фазы относительно земли, напряжение нулевой последовательности, ток нулевой последовательности и оперативный ток.

Защитное отключение, заземление и зануление – эффективные средства защиты от поражения электрическим током

4.1. Защитное отключение [2, 3, 9, 12].

Защитное отключение служит основной защитной мерой от опасности прикосновения человека к находящимся под напряжением токоведущим частям электроустановки. Это – быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при достижении током через тело человека предельно безопасного значения.

Существует большое число схем и конструкций устройств защитного отключения, основанных на разных принципах. В шахтных сетях с изолированной нейтралью устройства защитного отключения (УЗО) осуществляются по принципу наложения оперативного тока на контролируемую сеть и с использованием вентильных схем. Такие устройства помимо защитного отключения выполняют еще одну очень важную функцию – измерение и

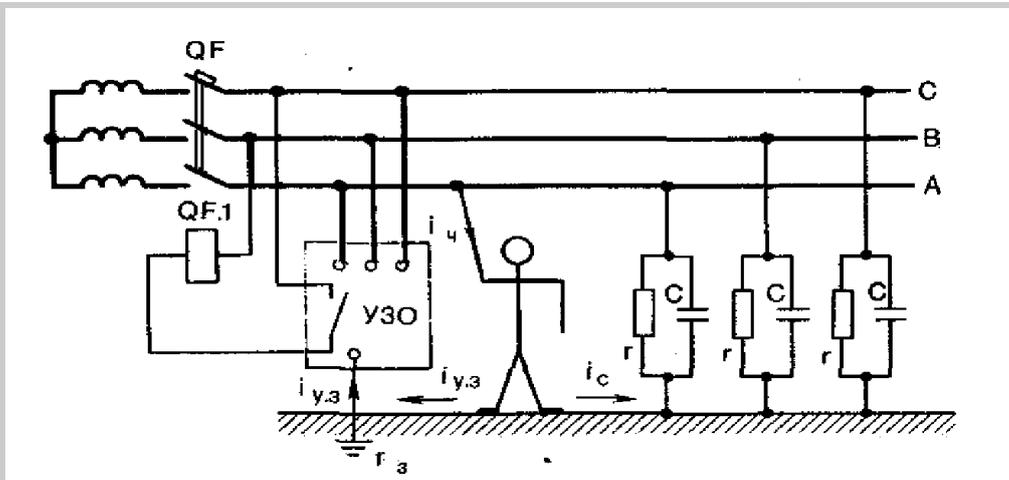


Рис. 4.1. Принципиальная схема защитного отключения и контроля изоляции в сети с изолированной нейтралью.

контроль активного сопротивления изоляции сети относительно земли. В этом случае защитные и профилактические функции совмещаются.

Принцип работы защитного отключения в сети с изолированной нейтралью рассмотрим на рис. 4.1, где устройство защитного отключения (УЗО) по-

казано в общем виде независимо от его внутренней схемы.

Ток через тело человека при его однополюсном прикосновении к проводу сети равен сумме токов

$$i_{\text{ч}} = i_{\text{у.з}} + i_{\text{с}},$$

где $i_{\text{у.з}}$ – ток, проходящий через УЗО; $i_{\text{с}}$ – ток сети, проходящий через сопротивление изоляции и емкости сети относительно земли.

При достижении тока уставки УЗО срабатывает и с помощью отключающей катушки *QF.1* автоматического выключателя снимает напряжение

с сети. Для правильной в отношении безопасности настройки защиты необходимо знать зависимость $i_{\text{ч}} = f(i_{\text{у.з}})$. В противном случае отключение может происходить и при достижении тока через тело человека выше предельно допустимого.

Защитное отключение можно применять в качестве как единственной меры защиты, так и основной совместно с дополнительным заземлением или занулением. Более высокие требования должны предъявляться к тем устройствам защитного отключения, которые используются как единственная мера защиты. В таких устройствах необходим самоконтроль для предотвращения

4.2. Защитное заземление и защитное зануление, устройство, достоинства и недостатки

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус [8], ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» [7, 17].

Принцип действия защитного заземления – снижение до безопасных значений напряжения прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус. Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования (уменьшением сопротивления заземлителя), а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования (подъемом потенциала основания, на котором стоит человек, до значения, близкого к значению потенциала заземленного оборудования).

Защитное заземление применяют в сетях с заземленной нейтралью напряжением выше 1000 В (рис. 4.1 а) и с изолированной нейтралью при любом напряжении (рис. 4.1 б).

В зависимости от места размещения заземлителя относительно заземляемого оборудования различают выносные и контурные заземляющие устройства.

Выносные заземлители располагают на некотором расстоянии от оборудования. При этом заземленные корпуса электроустановок находятся на земле с нулевым потенциалом, а человек, касаясь корпуса, оказывается под полным напряжением заземлителя.

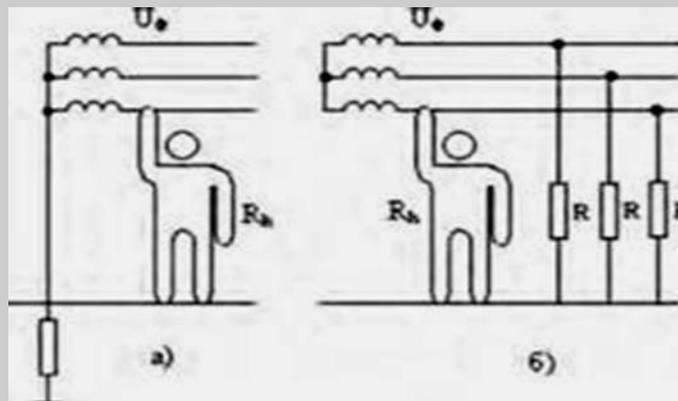


Рис. 4.1. Сеть с заземлённой (а) и сеть с изолированной нейтралью (б)

Принципиальные схемы защитного заземления в сетях трехфазного тока приведены на рис. 4.2.

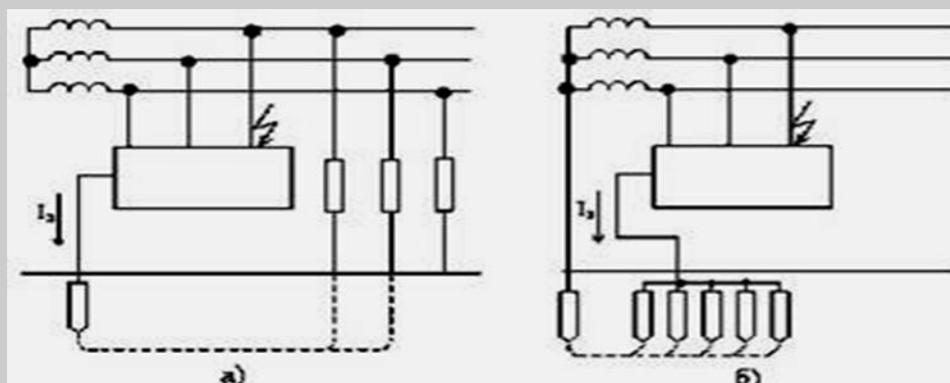


Рис.4.2. Принципиальные схемы защитного заземления в сетях трехфазного

тока: а – в сети с изолированной нейтралью; б – в сети с заземленной нейтралью напряжением свыше 1000 В.

Контурные заземлители располагают по контуру вокруг оборудования в непосредственной близости, поэтому оборудование находится в зоне растекания тока. В этом случае при замыкании на корпус потенциал грунта на территории электроустановки (например подстанции) приобретает значения, близкие к потенциалу заземлителя и заземленного оборудования электрооборудования, и напряжение прикосновения снижается.

Защитное заземление – важная мера защиты от опасных напряжений при прикосновениях к поврежденному оборудованию в сетях с изолированной нейтралью питающего трансформатора. Защитное заземление применяется с целью, чтобы напряжение прикосновения $U_{пр}$, вызываемое током однофазного замыкания на землю, не было опасным для человека при его касании конструктивных металлических частей заземленного оборудования. Для этого должно выполняться условие

$$U_{пр} = I_3 r_3 \leq U_{доп},$$

где $U_{доп}$ – напряжение, допустимое по условиям безопасности.

В сети с изолированной нейтралью ток замыкания на землю определяется в основном общей емкостью сети по отношению к земле, уровнем сопротивления изоляции, а также возможными дополнительными сопротивлениями в цепи замыкания.

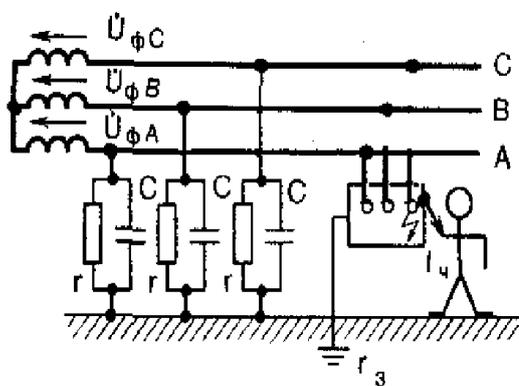


Рис. 4.3. Расчётная схема трёхфазной сети с изолированной нейтралью при замыкании фазы на корпус.

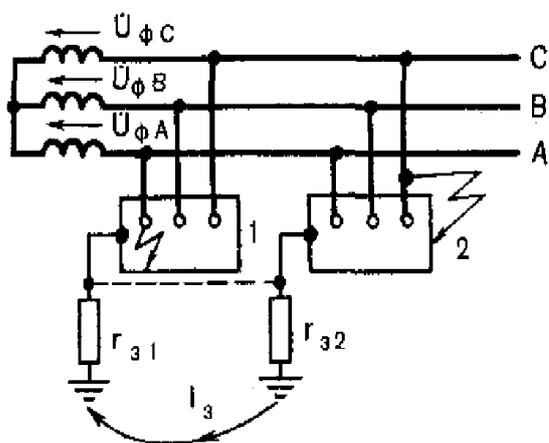


Рис. 4.4. Схема сети с изолированной нейтралью при двойном замыкании на корпус.

Чем меньше значение r_3 , тем меньше ток через тело человека, стоящего на земле и касающегося корпуса оборудования, которое находится под напряжением. Сопротивление r_3 – сопротивление растеканию тока с заземляющего устрой-

ства.

Согласно ПУЭ его величина не должна превышать 2, 4, 8 Ом при линейных напряжениях 660, 380, 220 В. Следовательно, в таких сетях проводимость заземляющего устройства всегда намного больше суммарной проводимости трёх фаз относительно земли. При этом ток через тело человека можно с достаточной для практических целей точностью определить как отношение фазного напряжения к сопротивлению тела человека, составляющему 1000 Ом.

Если принять, что сопротивление защитного заземления приближённо равно нулю ($r_3 = 0$), то ток через тело человека $I_q = 0$ (рис. 4.4). Правила безопасности [3] регламентируют, чтобы для сетей до 1000 В сопротивление защитного заземления было не более 2 Ом. Если металлическая часть электроустановки, не имеющая контакта с землёй ($r_3 = \infty$) в результате повреждения изоляции замкнётся с токоведущей частью, прикосновение к ней человека так же опасно, как и прикосновение к токоведущим частям в сети с изолированной нейтралью.

Посредством металлического соединения корпуса оборудования с землёй достигается положение – ток, проходящий через тело человека, включённого параллельно ему, при касании становится не опасным для жизни.

При повреждении фазы А в первом объекте (рис.4.5) фазное напряжение на втором объекте возрастёт $\sqrt{3}$ раз и достигает линейного напряжения, что может вызвать пробой фаз В или С второго объекта и двойное замыкание на землю, при котором напряжения прикосновения

$$U_{\text{пр 1}} = \frac{U_{\text{л}} r_{31}}{r_{31} + r_{32}}; \quad U_{\text{пр 2}} = \frac{U_{\text{л}} r_{32}}{r_{31} + r_{32}}.$$

При равных сопротивлениях заземления $r_{31} = r_{32}$ и линейном напряжении $U_{\text{л}} = 380$ В $U_{\text{пр 1}} = U_{\text{пр 2}} = 190$ В.

Чтобы исключить опасность двойного замыкания на землю, заземляющие устройства в электрически связанной сети одного напряжения целесообразно соединять между собой или выполнять совместно. При этом вместо двойного замыкания на землю происходит двухфазное к.з., которое отключается максимальной токовой защитой.

Требования к защитному заземлению подземных электроустановок изложены в ПБ в угольных шахтах [3]. Основные из них:

1) все элементы электрооборудования, нормально не находящиеся под напряжением, но на которых может появиться напряжение, подлежат заземлению. К таким элементам относятся металлические оболочки электрооборудования, экраны гибких кабелей, броня и свинцовые оболочки бронированных кабелей и т. д.;

2) должна создаваться общешахтная сеть заземления путём непрерывного соединения всех заземляющих элементов между собой.

3) общешахтная сеть заземления должна присоединяться не менее чем к двум главным заземлителям, устраиваемым в зумпфах или водосборниках;

4) главные заземлители должны резервировать действие друг друга, для этого их следует располагать в разных местах, а параметры каждого из них должны обеспечивать требуемое сопротивление растеканию тока при отключенном втором главном заземлителе;

5) корпуса передвижных машин должны соединяться с общешахтной сетью заземления заземляющими жилами питающих эти машины кабелей;

6) максимальное сопротивление заземления, измеренное в любой точке, в том числе и наиболее удаленной от главных заземлителей точке заземляю-

щей сети, не должно превышать 2 Ом. Сопротивление заземляющей жилы кабеля, с помощью которой передвижная машина присоединяется к общешахтной сети заземления, не должно превышать 1 Ом.

Заземление электроустановок производится с помощью заземляющих устройств. Эти устройства состоят из заземлителей и заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части электроустановок с заземлителями. Заземлитель – проводник, осуществляющий контакт с землей.

В качестве главного заземлителя должны применяться стальные полосы площадью не менее $0,75 \text{ м}^2$. Толщина полосы должна быть не менее 5 мм, длина – 2,5 м. Эти заземлители, как правило, погружают в зумпф или водосборник.

Если электроснабжение участков шахт осуществляется с поверхности по кабелям, проложенным в скважинах, главные заземлители могут устраиваться на поверхности. В качестве одного из главных заземлителей могут быть использованы обсадные трубы, закрепляющие скважины.

Местные заземлители должны изготавливаться из стальных полос пло-

площадью не менее $0,6 \text{ м}^2$. Толщина полос должна быть не менее 3 мм, а длина — 2,5 м. Рекомендуется размещать местные заземлители в штреховых водоотливных канавках.

В центральной подземной подстанции и околоствольной электромашинной камере устраивают заземляющие контуры из стальной полосы сечением не менее 100 мм^2 . Эти контуры должны соединяться с главными заземлителями с помощью стальной полосы или троса сечением не менее 100 мм^2 . Остальные электромашинные камеры, распределительные и трансформаторные подстанции должны иметь свои местные заземлители.

Каждый заземляемый объект присоединяют к заземлителям самостоятельным проводником из стали или меди с площадью поперечного сечения не менее соответственно 50 и 25 мм^2 . Присоединение заземляющих проводников к заземлителю должно выполняться сваркой на поверхности шахты. К заземляемым элементам электрооборудования заземляющие проводники должны присоединяться специальными болтами или шпильками, предусмотренными для этих целей на элементах конструкций.

Для создания общешахтной сети заземления все заземленные объекты должны электрически соединяться между собой.

Заземляющие устройства технологического оборудования должны подвергаться ежесменному наружному осмотру в начале каждой смены. Обслуживающий персонал, производящий осмотр, должен убедиться в целост-

ности заземляющих проводников, сборных шин и исправности их соединений с заземляющими и заземляемыми элементами электрооборудования.

Наружный осмотр общешахтной сети заземления следует производить не реже одного раза в 3 месяца. Одновременно должно быть проверено сопротивление заземления r_z у каждого заземлителя. Главные заземлители следует осматривать не реже одного раза в 6 мес.

Зануление (ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» [7, 17]).

Занулением называется преднамеренное соединение нетоковедущих частей электроустановки, которые случайно могут оказаться под напряжением, с глухозаземлённой нейтралью источника питания при помощи нулевого провода.

Зануление применяется в сетях с напряжением до 1000 В с заземлённой нейтралью. Корпуса электрооборудования при занулении соединяют не с заземлителем а с нулевым проводом (рис. 4.6).

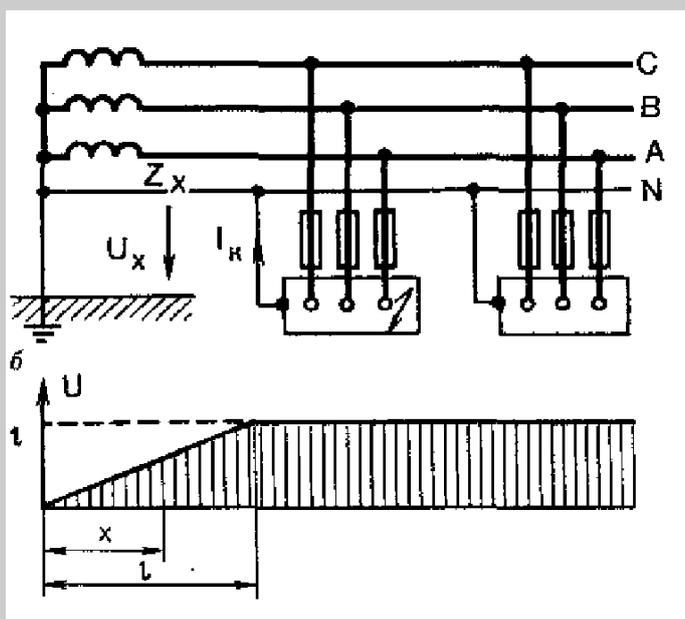


Рис. 4.6. Принципиальная схема зануления электрооборудования в сети с заземлённой нейтралью (а) и диаграмма напряжения относительно земли на нулевом проводе.

При повреждении изоляции (пробой на корпус) возникает ток к.з., способный обеспечить срабатывание защиты и автоматическое отключение повреждённой установки от питающей сети. В качестве аппаратов защиты применяют плавкие предохранители, автоматические выключатели, магнитные пускатели и др.

Основное требование ПУЭ к устройству занулений – обеспечить значение тока, надёжно отключающего аварийный участок сети. Для этого необходимо, чтобы ток к.з.

$$I_k > k \cdot I_{ном},$$

где $I_{ном}$ – номинальный ток плавкой вставки или ток уставки расцепителя автоматического выключателя;

k – коэффициент, принимаемый в зависимости от вида защитного устройства (при защите плавкими вставками или автоматическими выключателями, имеющими расцепители с обратно зависимой от тока характеристикой, $k = 3$). При замыкании на зануленный корпус ток проходит через сопротивления: фазы трансформатора Z_T , фазного провода Z_ϕ и нулевого провода Z_N .

Действующее значение тока определяем как

$$I_{\text{к}} = \frac{1,05 U_{\phi}}{\sqrt{(r_{\phi} + r_{\text{н}} + r_{\text{т}})^2 + (X_{\phi} + X_{\text{н}} + X_{\text{т}})^2}},$$

где r_{ϕ} , $r_{\text{н}}$ - активное сопротивление соответственно фазного и нулевого проводника;

$r_{\text{т}}$ - активное сопротивление одной фазы трансформатора;

X_{ϕ} , $X_{\text{н}}$ - индуктивное сопротивление соответственно фазного и нулевого провода;

$X_{\text{т}}$ - индуктивное сопротивление рассеяния трансформатора.

При прохождении тока к.з. на зануленных корпусах оборудования возникает напряжение относительно земли U_x , которое в месте к.з. составляет

$$U_l = I_{\text{к}} \sqrt{r_{\text{н}}^2 + X_{\text{н}}^2} = I_{\text{к}} Z_{\text{н}}.$$

На рис.4.6, б показана диаграмма напряжения относительно земли на нулевом проводе, а, следовательно, и на зануленном оборудовании при прохождении тока к.з. Напряжения на расстоянии x от заземлителя нейтрали

$$U_x = I_{\text{к}} Z_x.$$

В частном случае, когда $X_{\text{н}} = 0$; $r_{\phi}/r_{\text{н}} = 0,5$ и $U_{\phi} = 220$ В, получим

$$U_l = \frac{U_{\phi}}{1 + r_{\phi}/r_{\text{н}}} = \frac{220}{1 + 0,5} = 145 \text{ В.}$$

Из приведенного примера следует, что во время прохождения тока к.з. на корпусах зануленного оборудования могут возникать значительные потенциалы относительно земли. Поэтому быстрое отключение зануленного оборудования – основное требование к системе зануления в отношении безопасности эксплуатации.

Для воздушных сетей ПУЭ [3, 6] рекомендует многократно заземлять нулевой провод, поскольку в этих сетях, в отличие от кабельных, возможен обрыв нулевого провода.

Нулевой провод многократно заземляется за счет повторных заземлителей вблизи электропотребителей [12].

Так как время срабатывания плавких вставок предохранителей и тепловых расцепителей автоматов обратно пропорционально силе тока, то малое время срабатывания возможно при большой силе тока. Каждый отключающий аппарат имеет свою заводскую токовременную характеристику. Так, предохранитель срабатывает за 0,1 с, если ток короткого замыкания превысит его уставку (значение входной величины тока) в 10 раз, и за 0,2 с – если в 3 раза. Время отключения предохранителя резко возрастает до 9–10 с при небольшой силе тока короткого замыкания (в 1,3 раза). По условиям безопасности такая система зануления недопустима.

Для надежного и быстрого отключения электроустановки, находящейся в аварийном состоянии, необходимо, чтобы ток короткого замыкания превосходил ток уставки отключающего аппарата.

Схема зануления требует наличия в сети нулевого защитного проводника РЕ, глухого заземления нейтрали источника тока и повторного заземления нулевого защитного проводника.

Заземление нейтрали в сети до 1000 В снижает напряжение зануленных корпусов электрооборудования и нулевого защитного проводника относительно земли до малого значения при замыкании фазы на землю.

Повторное заземление нулевого защитного проводника практически не влияет на отключающую способность схемы зануления.

Однако при отсутствии повторного заземления нулевого защитного проводника возникает опасность для людей, прикасающихся к зануленному оборудованию в период замыкания фазы на корпус. Кроме того, в случае обрыва нулевого защитного проводника эта опасность повышается, поскольку напряжение относительно земли других подключенных в этот участок сети зануленных корпусов электродвигателей может достигать фазного напряжения. Повторное заземление нулевого защитного проводника значительно уменьшает опасность поражения током, но не может устранить ее полностью.

Согласно ПУЭ сопротивление каждого устройства повторных заземлений не должно превышать 10 Ом, при этом для каждой электроустановки необходимо сооружать не менее трех повторных заземлений: на воздушных линиях через каждые 250 м; на концах линий и ответвлений длиной более 200 м.

Основные недостатки защитного зануления:

- 1) зануление способствует выносу потенциала по нулевому проводнику на неповрежденное оборудование, что приводит к расширению опасной зоны;
- 2) относительно большое время срабатывания аппаратов защиты приводит к повышенной опасности на это время;
- 3) отказ в работе при обрыве нулевого провода;
- 4) при удаленных от источника точках замыкания ток К.З. может оказаться недостаточным для срабатывания защиты, вследствие чего создается повышенная опасность эксплуатации.

Системы защитного заземления

5.1. Отличие заземления от зануления

По своему назначению заземление и зануление выполняют одну и ту же задачу – защищают человека от поражения электрическим током. Однако обеспечивают они эту защиту немного разными способами. В сетях с занулением происходит отключение от сети электрооборудования, корпус которого из-за пробоя изоляции оказался под напряжением [10, 12].

Рассмотрим пример, в котором обеспечивается защита электроустановки с помощью зануления.

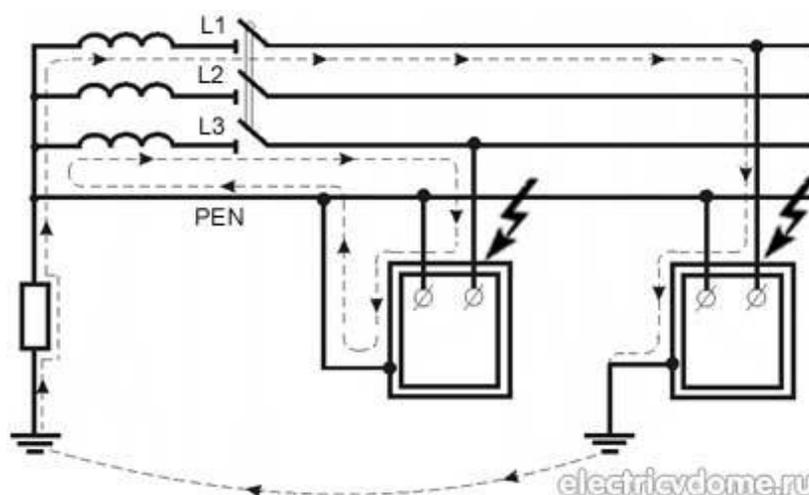


Рис. 5.1. Защита электроустановки с помощью зануления.

Как видно из рис. 5.1 при пробое фазы на соединенный с нулем корпус возникает замкнутый контур между фазой и нулем, то есть однофазное короткое замыкание. На возникшее короткое замыкание реагируют защитные устройства, такие как автоматы или предохранители, в результате происходит отключение поврежденной электроустановки от источника питания.

Рассмотренные выше примеры дают возможность сделать вывод что:

- - заземление осуществляется защитой снижением напряжения прикосновения.
- - зануление осуществляется защитой отключением электроустановки от сети.

5.2. Типы сетей с заземленной нейтралью (стандарт МЭК 60634-5-54) [10].

ПУЭ требуют обязательной металлической связи корпусов электрооборудования с заземленной нейтралью (образ зануления). В этом случае $r_{зм} = 0$ и ток короткого замыкания значительно повышается.

Не допускается заземление корпусов без их зануления, то есть, в отечественных электроустановках не допускается система ТТ (рис. 5.2, а), что отвечает стандарту МЭК 60364-5-54.

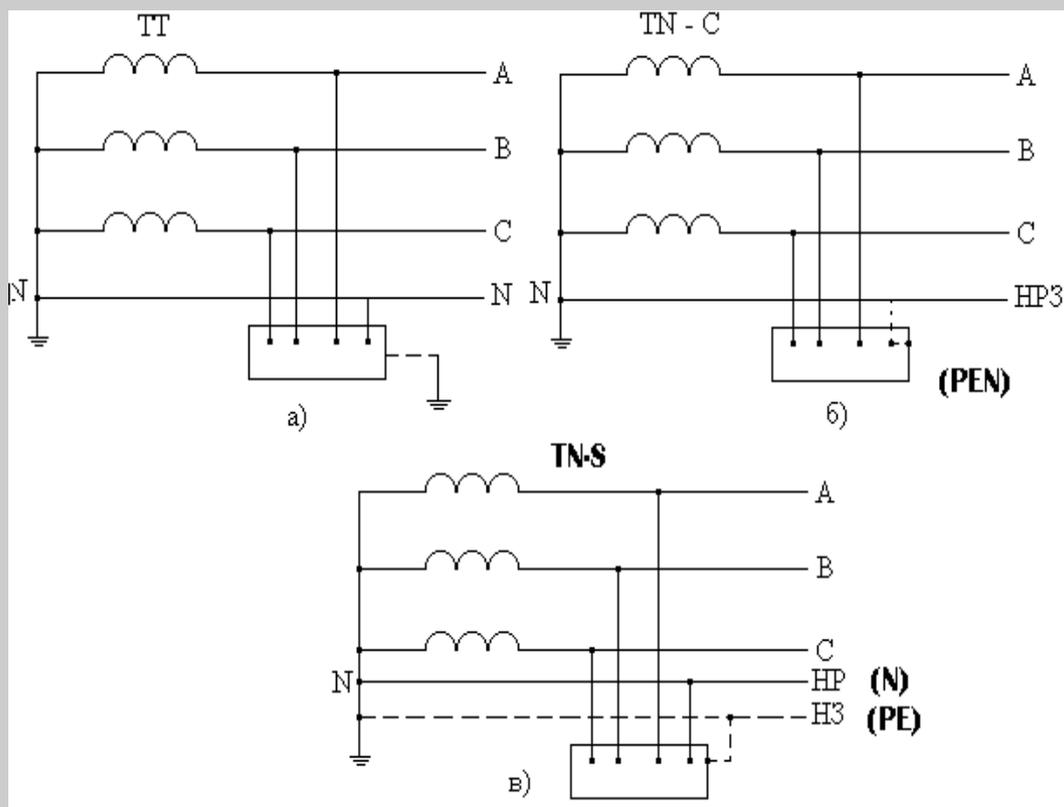


Рис. 5.2. Типы сетей с заземленной нейтралью (стандарт МЭК 60634-5-54):
а) с заземлением корпусов оборудования (ТТ);
б) с заземленным нулевым и рабочим заземляющим проводниками (TN-C);
в) с раздельным рабочим и нулевым заземляющими проводниками (TN-S).

Положительным для системы с занулением является то, что от одной сети могут одновременно питаться как силовые трехфазные электропотребители, так и однофазные (освещение, нагревательные установки и др.).

Недостатком системы с занулением является то, что в ней не обеспечивается безопасность человека, который притронулся токопроводящего элемента.

Кроме того, нулевой провод делает вынос потенциала на все зануленное электрооборудование.

Третья (дополнительная) литера в стандарте МЭК определяет вид соединения нулевого защитного (НЗ) проводника с нейтралью источника питания. Когда нулевой защитный проводник объединяется с нулевым рабочим (НРЗ) используется буква С (combine). Сеть типа TN – С (рис. 5.2, б) широко распространенная в мире, хотя и имеет ряд недостатков [10]:

- сложность использования селективных устройств защитного отключения (ПЗВ); наличие препятствий в системах телекоммуникаций, в компьютерных сетях и др. в следствие протекания части рабочих токов силовой сети через землю;
- возможность появления фазного напряжения на корпусах оборудования.

Более прогрессивной и более безопасной является сеть типа TN – S, в которой нулевой защитный проводник отделен (separate) от нулевого рабочего (рис. 5.2, в). В правилах устройства электроустановок (ПУЭ), принятых в Украине в 2001 году, помимо указанных выше систем предусмотрена система Tn-C-S, когда функции нулевого рабочего и защитного проводника объединены в одном проводнике (PEN) в части сети. В скобках на рис. 5.3 показаны обозначения заземляющих проводников согласно ПУЭ и стандартов МЭК.

5.3. В каких случаях выполняют защиту заземлением, а в каких занулением.

Применение в разных случаях заземления и зануления вызвано разными системами заземления электроустановок. В электроустановках напряжением до 1000 В применяются пять систем заземления: TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT [10].

Зануление используют в качестве защиты в таких системах, в которых присутствует PEN, PE или N проводник. Это сети с глухо заземленной нейтралью, TN-C, TN-S и TN-C-S.

Заземление применяют в электроустановках с системами заземления TT и IT.

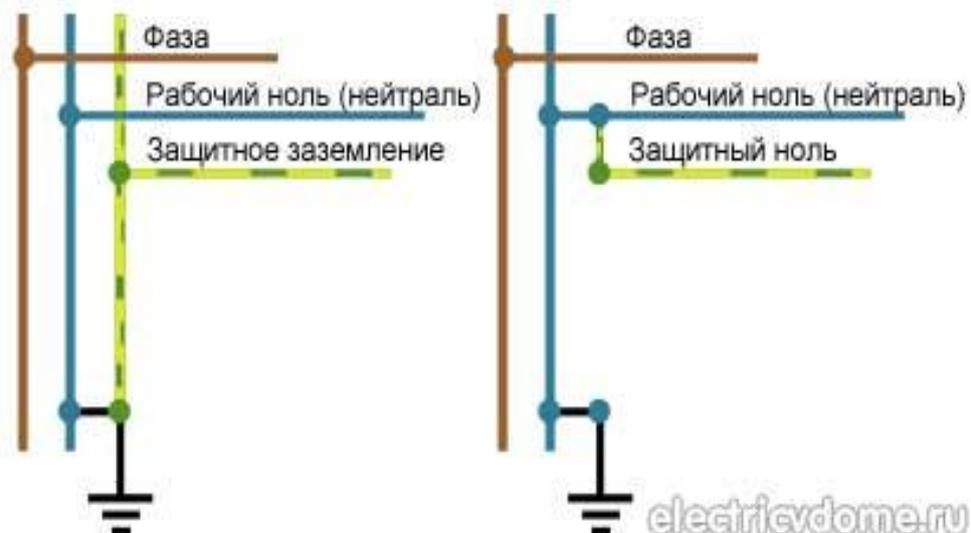


Рис. 5.3. Схема защитного заземления в системах ТТ и IT.

Рассмотренные выше способы заземления и зануления больше подходят для применения в промышленных электроустановках на производстве.

Преимуществом системы с глухозаземленной нейтралью трансформатора является то, что замыкание здоровой фазы на землю является коротким замыканием, которое сразу должно селективно отключаться максимальной защитой.

Однако это утверждение является справедливым для сетей с напряжением выше 1000 В. В действительности, ток замыкания на землю:

$$I_{\text{ЗМ}} = \frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3}(r_0 + r_{\text{ЗМ}})}$$

Принимая к вниманию возможные значения сопротивлений r_0 и $r_{\text{ЗМ}}$, простые расчеты показывают, что в сетях до 1000 В ток замыкания на землю имеет величину одного порядка с рабочими токами сети и, даже, может быть меньшим, то есть недостаточным для срабатывания максимальной защиты.

Лекция 6

Заземление нейтрали – необходимая мера обеспечения защиты при прикосновении к корпусу зануленного оборудования

6.1. Общие положения

Однако, поскольку корпус оказывается заземленным через нулевой защитный проводник, то в аварийный период (с момента возникновения замыкания на корпус до отключения электроустановки от сети защитой) будет проявляться защитное свойство заземления.

Принцип действия защитного зануления основан на превращении замыкания на корпус в однофазное к.з. с целью вызвать большой ток, способный обеспечить срабатывание защиты и тем самым отключить поврежденную электроустановку от сети [3, 8, 10,12].

Нулевой защитный проводник в схеме защитного заземления предназначен для создания тока однофазного к.з. цепи с малым сопротивлением, чтобы этот ток был достаточным для быстрого срабатывания защиты (т.е. быстрого отключения поврежденной электроустановки от питающей сети).

Рассмотрим на рис. 6.1 схему без нулевого защитного провода, роль которого выполняет земля (т.е. схема защитного заземления в сети с глухозаземленной нейтралью).

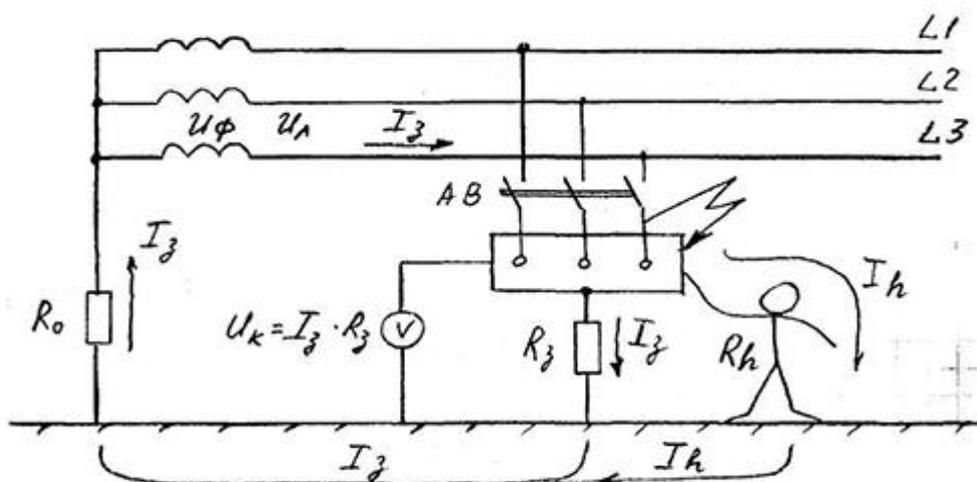


Рис. 6.1. Нулевой защитный проводник в 3 х фазной сети до 1 кВ с заземленной нейтралью.

При замыкании фазы на корпус в цепи, образовавшейся через землю будет проходить ток:

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{R_0 + R_3}$$

благодаря которому на корпусе относительно земли возникает напряжение

$$U_{\kappa} = I_{\phi} \cdot R_3 = U_{\phi} \cdot \frac{R_3}{R_0 + R_3}$$

где: U_{ϕ} - фазное напряжение, В

R_0, R_3 - сопротивление заземлений нейтрали и корпуса, Ом.

Сопротивление обмотки трансформатора источника питания и проводов сети малы по сравнению с R_0 и R_3 и их в расчёт можно не принимать.

Ток I_{ϕ} может оказаться недостаточным, чтобы вызвать срабатывание защиты и электроустановка может не отключиться.

Например, при $U_{\phi}=220$ В и $R_0 = R_3=4$ Ом, ток, проходящий через землю, будет равен:

$$I_{\phi} = \frac{220}{4+4} = 27,5 \text{ А}$$

а напряжение корпуса относительно земли:

$$U_{\kappa} = 220 \cdot \frac{4}{4+4} = 110 \text{ В}$$

Если ток срабатывания защиты больше 27,5А, то отключения не произойдет и корпус будет находиться под напряжением 110В до тех пор, пока установку не отключат вручную.

Безусловно, при этом возникает угроза поражения людей электрическим током в случае прикосновения к повреждённому оборудованию. Ток через тело человека в этом случае будет равен:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\kappa}}{R_{\text{ч}}} = \frac{110 \text{ В}}{1000} = 0,11 \text{ А} = 110 \text{ мА}$$

Чтобы устранить эту опасность необходимо обеспечить автоматическое отключение электроустановки, т.е. увеличить ток до величины $I_{\phi} > I_{\text{с.з.}}$, что достигается уменьшением сопротивления цепи за счёт введения в схему защитного нулевого провода с малым сопротивлением.

Согласно ПУЭ нулевой защитный проводник должен иметь проводимость

не меньше половины проводимости фазного провода. В этом случае ток однофазного к.з. будет достаточным для быстрого отключения поврежденной электроустановки.

Вывод: в 3^x фазной сети до 1 кВ с заземленной нейтралью без нулевого защитного проводника невозможно обеспечить безопасность при замыкании на корпус, поэтому такую сеть применять запрещается.

Заземление нейтрали предназначено для снижения до безопасного значения напряжения относительно земли нулевого защитного проводника (и всех присоединенных к нему корпусов электрооборудования) при случайном замыкании фазы на землю.

В 4^x проводной сети с изолированной нейтралью при случайном замыкании фазы на землю между нулевым защитным проводом и землей (рис. 6.2), а следовательно между каждым зануленным корпусом и землей, возникает напряжение U_k , близкое к значению U_ϕ . Например, при $U_\phi=220\text{В}$, $U_k \gg 220\text{В}$. Что является весьма опасным.

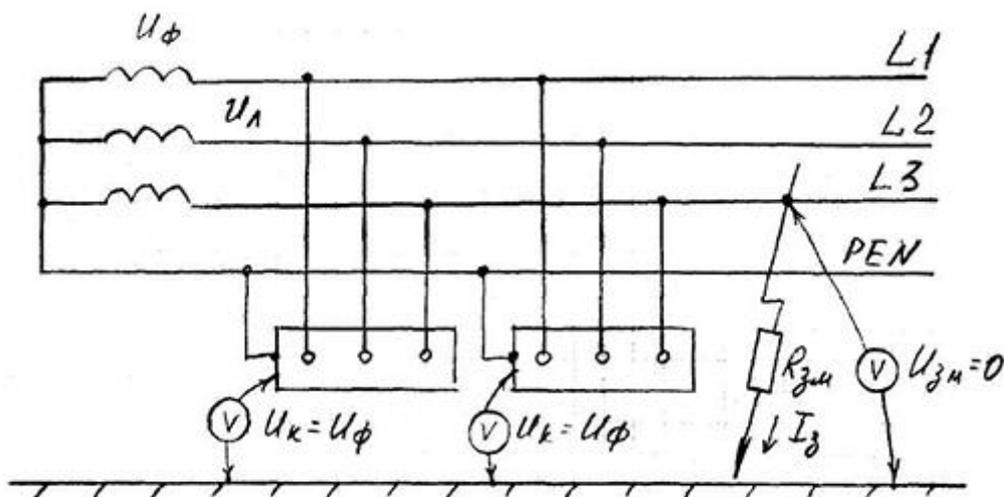


Рис. 6.2. Замыкание фазы на землю в 3х фазной четырёхпроводной сети до 1 кВ с изолированной нейтралью.

В сети с заземленной нейтралью (рис. 6.3) при таком повреждении будет обеспечиваться безопасность, так как при замыкании фазы на землю фазное напряжение U_ϕ разделится пропорционально сопротивлениям $R_{зм}$ (сопротивления замыкания фазы на землю) и R_o (сопротивление заземления нейтрали), благодаря чему напряжение между зануленным оборудованием и землей U_k снизится и будет равно:

$$U_{\text{к}} = I_{\text{ф}} R_0 = U_{\text{ф}} \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_{\text{з.н}}}$$

где: $I_{\text{з}}$ - ток замыкания на землю фазы

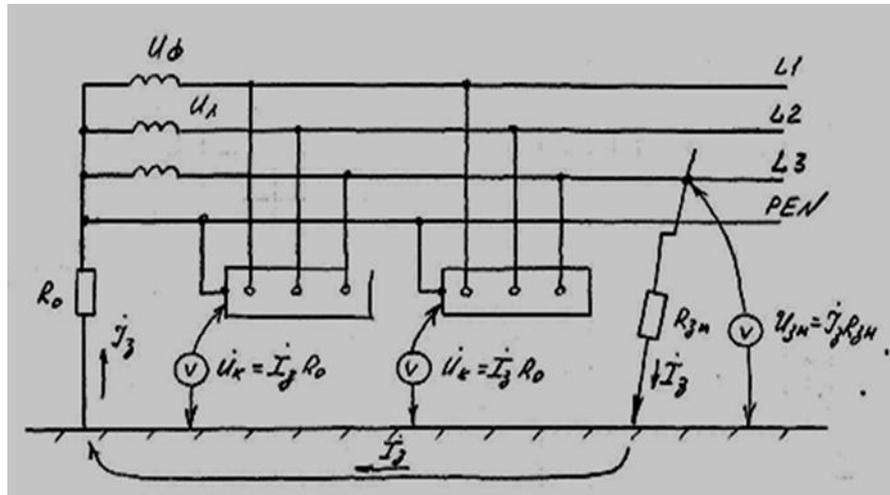


Рис. 6.3. Замыкание фазы на землю в 3х фазной четырёх проводной сети до 1 кВ с заземлённой нейтралью.

Как правило, сопротивление, которое оказывает грунт току замыкания фазы на землю $R_{\text{з.н}}$, во много раз больше сопротивления заземления нейтрали R_0 . Поэтому $U_{\text{к}}$ оказывается незначительным.

Например, при $U_{\text{ф}}=220\text{В}$, $R_0=4\text{ Ом}$, $R_{\text{з.н}}=100\text{ Ом}$

$$U_{\text{к}} = 220 \cdot \frac{4}{4 + 100} = 8,5\text{В}$$

При таком напряжении прикосновение к корпусу неопасно.

Вывод: 3^х фазная четырехпроводная сеть с изолированной нейтралью имеет опасность поражения электрическим током и применяться не должна.

Для уменьшения опасности поражения людей электрическим током в случаях обрыва нулевого защитного проводника и замыкания фазного проводника на корпус применяют повторное заземление нулевого защитного проводника.

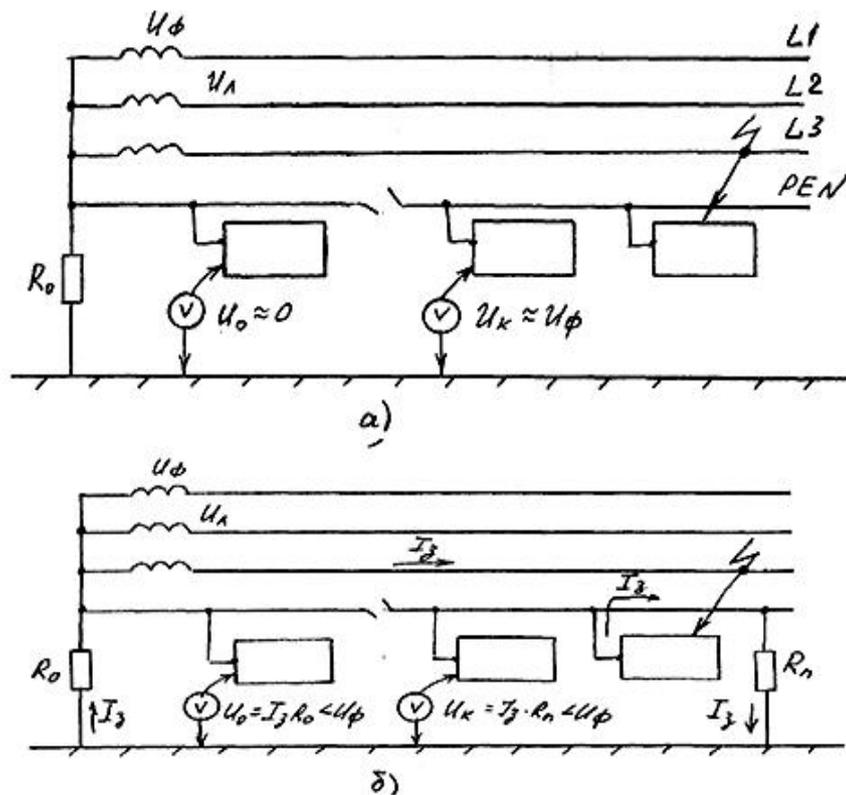


Рис. 6.4. Замыкание фазы на корпус при обрыве нулевого защитного проводника:

- а) в сети без повторного заземления нулевого защитного проводника;
- б) в сети с повторным заземлением нулевого защитного проводника.

При случайном обрыве нулевого защитного провода и замыкании фазы на корпус (за местом обрыва) отсутствие повторного заземления приведёт к тому, что напряжение относительно земли оборванного участка нулевого защитного провода и всех присоединенных к нему корпусов окажется равным фазному напряжению сети (U_ϕ) (рис. 6.4 а).

Это напряжение опасное для человека будет существовать длительно, поскольку поврежденная электроустановка не будет отключаться от защиты, а обрыв нулевого проводника трудно обнаружить, чтобы отключить вручную.

Если же нулевой защитный проводник будет иметь повторное заземление, то при его обрыве сохранится цепь тока I_3 через землю (рис. 6.4 б), а напряжение прикосновения на корпусе относительно земли за местом обрыва снизится до назначения:

$$U_k = I_3 R_n = U_\phi \cdot \frac{R_n}{R_0 + R_n}$$

где: I_3 - ток, проходящий через землю

R_n - сопротивление повторного заземления нулевого защитного провода.

Корпуса электрооборудования, присоединенные к нулевому защитному проводнику до места обрыва также окажутся под напряжением относительно земли:

$$U_0 = I_3 R_0 = U_\phi \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_n}$$

Сумма U_k и U_0 равны фазному напряжению:

$$U_k + U_0 = U_\phi$$

Если $R_0 = R_n$, то корпуса, присоединенные к нулевому защитному проводу, как до, так и после обрыва, будут иметь одинаковый потенциал:

$$U_k + U_0 = 0,5U_\phi$$

Этот случай является наименее опасным, так как при других соотношениях R_0 и R_n часть корпусов будет находиться под напряжением большим $0,5U_\phi$, а другая часть корпусов под напряжением меньшим $0,5U_\phi$.

Вывод: повторное заземление значительно уменьшает опасность поражения электрическим током, возникающего при обрыве нулевого защитного проводника, но не может обеспечить условий безопасности, которые существовали до обрыва.

В сети, где применяется защитное зануление, запрещается заземлять корпус электроприемника, не присоединив его к нулевому защитному проводу.

Объясняется это тем, что в случае замыкания фазы на заземленный, но не присоединенный к нулевому защитному проводнику корпус электрооборудования (рис. 6.5), образуется цепь тока I_3 через сопротивление заземления этого корпуса R_3 и сопротивление нейтрали источника тока R_0 .

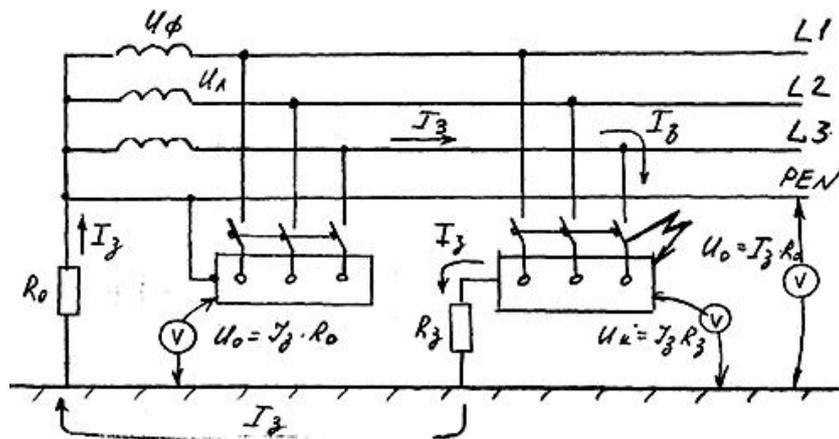


Рис. 6.5. Схема поясняющая недопустимость заземления и зануления разных корпусов электрооборудования в одной сети.

В результате между этим корпусом и землей возникает напряжение:

$$U_k = I_3 \times R_3$$

Одновременно возникает напряжение между нулевым защитным проводником и землей (между всеми корпусами присоединенными к нулевому защитному проводнику и землей):

$$U_0 = I_3 \times R_0$$

При $R_3 = R_0$, U_k и U_0 будут одинаковыми и равными половине фазного напряжения.

Например, в сети с $U_\phi = 220\text{В}$ напряжение между каждым корпусом и землей будет равно 110В.

Указанные напряжения могут существовать длительно, пока электроустановка не будет отключена от сети вручную, т.к. защита из-за малого значения тока I_3 может не сработать.

Следует отметить, что одновременное заземление и зануление одного и того же корпуса наоборот улучшает условия безопасности, т.к. создаёт дополнительное заземление нулевого проводника.

При замыканиях на корпус зануление создает цепь однофазного короткого замыкания. В результате срабатывает максимально-токовая защита (МТЗ) и аварийный участок цепи отключается от сети. Кроме того, до срабатывания ток к.з. вызывает перераспределение напряжений в сети и, как следствие, снижение напряжения аварийного корпуса относительно цепи (снижается напряжение прикосновения). Быстродействием МТЗ определяется время воздействия поражающего фактора опасности. (Чем меньше время срабатывания защиты, тем меньше опасность поражения человека при прикосновении к зануленному аварийному корпусу).

При замыкании на зануленный корпус в цепи одного из фазных проводов возникает ток короткого замыкания (I_k). Этот ток определяется фазным напряжением источника питания (U), полными сопротивлениями цепи фазного (Z_ϕ) и нулевого (Z_n) проводов:

$$i_k = \frac{U}{Z_\phi + Z_n}$$

Сопротивление цепи «фаза-нуль» $Z_\phi + Z_n$ выражается комплексными величинами. Это объясняется тем, что при протекании больших токов при надлежащем выполнении зануления I_k должен превышать I_{cp} и тем самым обеспечить срабатывание максимальной токовой защиты и, следовательно, безопасность людей имеющих контакт с зануленным электрооборудованием.

ПУЭ нормируют максимальные значения сопротивлений заземляющих устройств:

1. в электроустановках напряжением выше 1 кВ в сетях с эффективно заземленной нейтралью сопротивление заземляющего устройства в любое время года должно быть не более 0,5 Ом.

2. в электроустановках напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью должно быть $R \leq 250/I$, Ом, но не более 10 Ом, где I – расчетный ток замыкания на землю, А.

3. в электроустановках напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью сопротивление заземляющего устройства, к которым присоединены нейтрали генератора или трансформатора в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника 3-х фазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

4. В электроустановках напряжением до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью сопротивление заземляющего устройства используемого для защитного заземления открытых проводящих частей в системе IT должно быть

$$R \leq U_{np} / I, \text{ Ом}$$

где:

U_{np} - напряжение прикосновения, которое принимается равным 50В

I - полный ток замыкания на землю

Автоматическое отключение питания

Для обеспечения автоматического отключения электроустановки (защитного отключения) при возникновении в ней опасности поражения электрическим током применяют быстродействующие защиты.

Защитным отключением называется быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения электрическим током.

Опасность поражения человека электрическим током может возникнуть при:

- замыкании фазы на корпус электрооборудования;
- снижении сопротивлении изоляции относительно земли (повреждение изоляции, замыкании фазы на землю и т.п.);
- появлении в сети более высокого напряжения (в результате пробоя изоляции между обмотками высшего и низшего напряжений, замыкания между проводами ВЛ разных напряжений и т.п.);
- при случайном прикосновении человека к токоведущей части находящейся под напряжением.

В этих случаях в сети происходит изменение некоторых электрических параметров (например: изменяется ток утечки в землю; изменяется напряжение фаз относительно земли; появляется напряжение нулевой последовательности. Могут возникнуть также напряжение между корпусом оборудования и землёй, ток замыкания на землю, ток к.з и т.д.).

Любое изменение параметров, при котором появляется опасность поражения электрическим током может служить импульсом, вызывающим срабатывание быстродействующей защиты (УЗО), при этом будет происходить автоматическое отключение электроустановки от источника питания.

Защитное отключение обеспечивает безопасность путем ограничения времени протекания через человека опасного тока. Защита осуществляется

устройством защитного отключения (УЗО), которое постоянно контролирует условия поражения и осуществляет отключения сети (или участка сети) при возникновении опасности поражения человека электрическим током.

При выполнении автоматического отключения питания в электроустановках напряжением до 1 кВ все открытые проводящие части должны присоединяться к глухозаземленной нейтрали источника (зануляться) в сетях с глухозаземленной нейтралью (если применена система TN), и заземляться в сетях с изолированной нейтралью (в системах IT), а также в сетях с глухозаземленной нейтралью (в системах TT), где проводящие части электроустановок заземлены при помощи заземления, электрически не связанного с заземлителем нейтрали.

В электроустановках, в которых в качестве защитной меры применяется автоматическое отключение питания, должно быть выполнено уравнивание потенциалов.

Время автоматического отключения питания нормируется ПУЭ. В таблице 6.1. приведено наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения.

Таблица 6.1. Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для электроустановок до 1 кВ

Сети с глухозаземленной нейтралью (для системы TN)	
Номинальное фазовое напряжение, В	Время отключения, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
более 380	0,1
Сети с изолированной нейтралью (для системы IT)	
Номинальное линейное напряжение, В	Время отключения, с
220	0,8
380	0,4
660	0,2
более 660	0,1

Исполнение электрооборудования общепромышленного применения

7.1. Виды исполнения электрооборудования

При проектировании, выборе и изготовлении электрооборудования необходимо учитывать внешнюю среду, в которой будет работать электрооборудования: климатические условия работы и условия хранения, условия транспортировки электрооборудования с учётом температуры, влажности, высоты над уровнем моря, интенсивности солнечной радиации, присутствия в атмосфере песка, пыли, микробной заражённости местности, наличие насекомых, грызунов, пресмыкающихся, возможность появления статического электричества.

Электрооборудование может работать на открытом воздухе, в разного вида помещениях, в помещениях с повышенной влажностью и др. В зависимости от климатических условий, стандартами установлены исполнения электрооборудования по категориям МЭК [10]:

- изделия для эксплуатации на суше, реках, озёрах: «У» - для районов с умеренным климатом; «ХЛ» - с холодным климатом; «Т» - с тропическим климатом, в том числе «ТС» - тропический сухой и «ТВ» - тропический влажный; «О» - общеклиматическое исполнение;

- изделия для установки на морских кораблях;

- «М» - морской климат;

- «ТМ» - тропический морской;

- «ОМ» - для неограниченных районов плавания;

- «В» - все микроклиматические районы на суше и на море.

Кроме этого категории исполнения, которые обозначаются цифрами:

- 1 – для работы на открытом воздухе;

- 2 – для работы в помещениях, имеющих температуру, незначительно отличающуюся от внешней;

- 3 – для работы в закрытых помещениях без регулирования микроклимата;

- 4 – для работы в закрытых помещениях с регулируемым микроклиматом;

5 – для работы в помещениях с повышенной влажностью (в том числе в выработках шахт и рудников).

По защите персонала от воздействия внешней среды электрооборудование классифицируется на: взрывозащищенное, влагостойкое, морозостойкое, стойкое к воздействию химических веществ, тропическое.

II защите персонала от прикосновения к токопроводящим частям оборудования, защитой от проникновения в электрооборудование инородных тел, влаги и воды в соответствии с рекомендациями МЭК стандартами была введенная международная классификация для электрооборудования напряжением до 1000 В, за которой выполнение оболочек электрооборудования обозначается IP00.

Первая цифра характеризует защита персонала и защита от попадания твердых предметов:

0 – защита отсутствующая;

1 – защита от попадания твердых тел размером больше 52, 5 мм, защита от возможных прикосновений большой поверхностью тела к токопроводящим частям;

2 – защита от твердых тел размером больше 12 мм, защита от прикосновения пальцев к токопроводящим частям;

3 – защита от твердых тел размером больше 2, 5 мм; защита от прикосновения инструмента, проволоки или вторых подобных предметов с размером больше 2, 5 мм к токопроводящим частям;

4 – защита от твердых тел размером больше 1, 0 мм, защита от прикосновения токопроводящих частей инструментом или проволокой толщиной больше 1 мм;

5 – защита от пыли; полная защита персонала; 6 – пыленепроницаемость, полная защита персонала.

Вторая цифра характеризует защиту от воды:

0 - отсутствие защиты;

1 - защита от капель, конденсата воды;

2 - защита от капель, которые падают под наклоном до 15°;

3 - защита от дождя (падающего под углом не больше 60° к вертикали);

4 - защита от брызг (в любом направлении);

5 - защита от струй, воды;

6 - защита от волн воды (работа на палубе корабля);

7 - защита при погружении в воду (при давки и на протяжении времени, отмеченных техническими условиями);

8 - защита при долгосрочном погружении в воду (при давки, которая указывается техническими условиями).

Взрывоопасное электрооборудование в большинстве имеет выполнение не ниже IP54.

7.2. Уровень и виды взрывозащиты, маркировка взрывобезопасного электрооборудования

Под взрывозащищенным электрооборудованием понимают такое, в котором использованные специальные средства, которые исключают или сводят к минимуму возможность взрыва окружающего взрывоопасного среды.

Существуют две основные группы средств (ГОСТ 12.2.020-76, EN 50.014): средства, которые допускают возможность взрыва в середине электрооборудования, но исключают его распространение в окружающую среду;

средства, которые исключают взрыв от электрооборудования за счет или изоляции его токопроводящих частей, или ликвидации опасного искрения или нагрева частей электрооборудования, которые могут прийти у столкновения со взрывоопасной средой.

Разделяют взрывозащищенное электрооборудование для шахт и рудников, и электрооборудования для помещений и внешних установок. Оно классифицируется за уровнями и видами взрывозащиты.

Уровень взрывозащиты электрооборудования определяет степень взрывозащиты, а вид - совокупность конструктивных мер, которые исключают или затрудняют возможность вспышки внешнего среды и обеспечивают необходимый уровень взрывозащиты.

В зависимости от уровня взрывозащиты рудниковое электрооборудование делится на:

- рудниковое нормальное выполнение, которое не имеет средств взрывозащиты, выполненное с учетом специфических требований к электрооборудованию, которое работает в условиях эксплуатации в подземных виробках, имеет маркирование RN;

- рудниковое повышенной надежности, которая имеет меры и средства, которые затрудняют появление опасных іскр, дуг, нагрева и обеспечивают взрывозащиту только в режиме нормальной работы (РП);

- рудничное взрывобезопасное:

защита от взрыва окружающей среды при появлении опасного искрения, электрической дуги, нагрева, как при нормальных режимах работы, так и при аварийных (РВ);

- рудничное особо взрывобезопасное электрооборудование - взрывобезопасное электрооборудование, в котором принятые дополнительно средства взрывозащиты обеспечивают взрывозащиту при любых повреждениях, кроме повреждений средств взрывозащиты (РО).

Перечисленные уровни выполнения взрывозащиты обеспечиваются соответствующими видами взрывозащиты. Правила изготовления взрывозащитного рудничного электрооборудования (ПВВРЕ) предусматривают следующие виды взрывозащиты:

- взрывонепроницаемая оболочка, обозначается “В”.

В зависимости от напряжения и максимально возможного тока к.з. в месте установления электрооборудования различают оболочки типа:

“1В” - напряжение не нормируется, а ток к.з. до 100 А, или напряжение до 100 В, а ток не нормируется;

“2В” - напряжение больше 100 В до 220 В, ток к.з. от 100 А до 450 А;

“3В” - напряжение больше 220 В до 1140 В, ток к.з. больше 100 А;

“4В” - напряжение больше 1140 В, ток к.з. больше 100 А.;

- повышенная надежность против взрыва (защита вида “е”) - “Г”;

- искробезопасность электрических цепей в нормальном и аварийном состоянии при двух повреждениях, если в искробезопасной цепи есть открытые, нормально искрящие контакты, или при одном повреждении, если нормально искрящих контактов нет “Г” (Ia, Ib, Ic);

- кварцевое заполнение оболочки - “К” (1К, 2К, 2КЕ);

- автоматическое защитное отключение - “А”;

- специальные виды взрывозащиты - “С”;

- маслonaповненое оборудование - “М” (1М – $U_n = 65$ В, $I_{кз} = 100$ А;

2М – $U_n = 127$ В, $I_{кз} = 450$ А;

3М – $U_n = 600$ В, $I_{кз} = 15000$ А;

4М – $U_n = 6000$ В, $I_{кз} = 10000$ А).

Общий уровень взрывозащиты электрооборудования, в состав которого входят элементы с разными уровнями защиты, устанавливается по нижнему уровню защиты элементов.

На электрооборудовании, изготовленному на экспорт или импортному из

других стран, маркирования выполняется в соответствии с рекомендациями МЭК.

Эта маркировка включает следующие обозначения:

знак уровня взрывозащиты электрооборудования:

“2” - повышенная надежность против взрыва;

“1” - взрывоопасное”;

“0” – особенно взрывоопасное.

Знак “Ex” указывает на соответствие оборудования стандартам на взрыво-безопасное оборудование.

Знак вида взрывозащиты:

d - взрывонепроницаемая оболочка;

e - защита повышенной надежности;

o - масляное заполнение оболочки;

q - заполнение кварцевым песком;

r - продувка и заполнение с избыточным давлением;

i – искробезопасные цепи;

ia – особо взрывозащищенный уровень;

ib – взрывозащищенный уровень;

ic – уровень повышенной надежности;

S - специальная взрывозащита.

4. Знак группы оборудования:

I - рудничное;

II - для внутренней и внешней установки (для группы II указывается категория совмещения IIА, IIВ, IIС и ее группа Т1...Т6).

Для рудничного электрооборудования во взрывонепроницаемой оболочке обозначения имеет следующий вид ExdI, а рудничное электрооборудование повышенной надежности маркируется ExeI. Примерами маркировки электрооборудования для внутреннего использования могут быть:

РП II 1В;

РП II И;

РВ 3В;

РВ 3В IIа и др.

Пример маркирования оборудования второй группы:

2 Ex ed IIВ Т3:

2 –повышенная надежность против взрыва;

Ex – соответствует стандартам на взрывобезопасное оборудование;
e – защита повышенной надёжности;
d – взрывонепроницаемая оболочка;
ПВ (ПА) – для работы со взрывозащищёнными смесями ПВ (ПА);
ТЗ - для работы с группой смесей ТЗ (и Т1 и Т2).

Особенности рудничного электрооборудования

8.1. Основные понятия и определения

Электрооборудованием называется совокупность электрических изделий (устройств), предназначенных для выполнения определённой работы. В зависимости от места установки оборудование имеет соответствующее название, например, электрооборудование очистного комплекса.

Электротехническое изделие (устройство) представляет устройство для преобразования, распределения, передачи и использования электрической энергии (например, электромашинный генератор, трансформатор, контактор, электрический двигатель и др.), а также для ограничения возможности её передачи (различные аппараты защиты, реактор и др.).

Для выполнения заданной работы входящие в электрооборудование отдельные электротехнические устройства соединяются между собой определённым образом, образуя силовые электрические цепи, предназначенные для производства, передачи и распределения основной части электрической энергии, а также для её преобразования, и вспомогательные электрические цепи, выполняющие одну из функций: управление, защита, сигнализация, измерение.

В соответствии с выполняемой функцией вспомогательные цепи делятся на: цепи управления, предназначенные для приведения в действие электрооборудования или отдельных устройств (например, для включения пускателя, управляющего работой электродвигателя и изменения значения их параметров (при регулировании частоты вращения электродвигателя); цепи сигнализации, приводящие в действие сигнальные устройства – оптические (лампы, световые табло и др.) и акустические (звонки, гудки, сирены); цепи измерения, предназначенные для измерения и регистрации значений электрических параметров (тока, напряжения, мощности), а также различных неэлектрических величин (например, положения и частоты вращения частей горных машин, концентра-

ции метана в шахтной атмосфере), преобразованных в пропорциональные электрические величины; цепи защиты, приводящие в действие электрическую защиту оборудования.

8.2. Классификация рудничного электрооборудования

Электрооборудование (электрические изделия и устройства) классифицируются по различным признакам [13].

Так, в зависимости от наличия или отсутствия оболочки, защищающей **электрооборудование от воздействия внешней среды, а человека – от прикосновения к токоведущим частям, различают:**

открытое электрооборудование, не защищенное оболочкой от прикосновения к его частям, находящимся под напряжением, и к опасным движущимся частям, а также от попадания внутрь него посторонних предметов, жидкости и пыли (например, электродвигатели подъемных установок с выносными стоячковыми подшипниками, панели управления для подъемных, компрессорных, вентиляторных установок на поверхности шахт и др.);

защищенное электрооборудование, имеющее оболочку, которая обеспечивает указанную выше защиту. Степень защиты устанавливается по ГОСТ 14254–80 и обозначается буквами IP и последующими двумя цифрами.

Электрооборудование классифицируется также в зависимости от того, учтены или нет в его конструкции требования, специфичные для определенного назначения или определенных условий эксплуатации. Электрооборудование ***общего назначения*** выполняется без учета этих требований, а электрооборудование ***специального назначения*** – с их учетом.

К электрооборудованию специального назначения относится *рудничное электрооборудование*, предназначенное для использования в рудниках, шахтах, на разрезах и горнообогатительных предприятиях. Особые требования, предъявляемые к рудничному электрооборудованию, обусловлены возможностью образования в подземных выработках шахт взрывоопасной метано-воздушной или пылевоздушной смеси, наличием агрессивных вод и токопроводящей угольной пыли, высокой влажностью окружающего воздуха, повышенными вибрационной и ударной нагрузками, стесненностью пространства, затрудняющей обслуживание электрооборудования, и др.

В зависимости от климатических факторов внешней среды различают по ГОСТ 15150–69 электрооборудование для умеренного, тропического и холодного климата, обозначаемое соответственно У, Т и ХЛ. Устанавливается также категория размещения, которая характеризует рабочую температуру и относительную влажность внешней среды (воздуха). Она обозначается цифрами от 1 до 5. Климатическое исполнение и категория размещения указываются в конце обозначения типа электрооборудования, например АП-4У5.

В зависимости от условий эксплуатации различают оборудование:

стационарное, предназначенное для эксплуатации без перемещения его относительно места установки, например, электрооборудование подъемных и компрессорных установок, насосов главного водоотлива, механизмов околоствольного двора, центральных подземных подстанций и др.;

передвижное, допускающее перемещение от одного места установки к другому без нарушения его готовности к работе. К передвижному рудничному электрооборудованию относятся подвергающееся частым перемещениям электрооборудование участковой понижающей подстанции, распределительного пункта лавы, подвесного проходческого насоса и движущееся при выполнении работ электрооборудование очистных комбайнов и комп-

лексов, проходческих комбайнов и погрузочных машин, транспортных устройств;

переносное, предназначенное для перемещения вручную. Сюда относятся ручные электросверла и различные электрифицированные инструменты, находящиеся в процессе работы в руках рабочего, а также переносные светильники.

Вид взрывозащиты — это установленная совокупность средств взрывозащиты. Для рудничного взрывозащищенного электрооборудования по ГОСТ 12.2.020—76 установлены следующие виды взрывозащиты:

взрывонепроницаемая оболочка (выполняется по ГОСТ 22782.6—81); выдерживающая давление взрыва внутри нее и предотвращающая распространение взрыва из оболочки в окружающую среду;

искробезопасная электрическая цепь (по ГОСТ 22782.5—78), которая выполняется таким образом, чтобы электрический разряд или ее нагрев не мог воспламенить взрывоопасную среду при установленных условиях испытания;

защита вида "е" (по ГОСТ 22782.7—81), которая состоит в том, что в электрооборудовании (или его части), не имеющем нормально искря-

щих частей, принят ряд мер (дополнительно к используемым в электрооборудовании общего назначения), затрудняющих появление опасных нагревов, электрических искр и дуг;

кварцевое заполнение оболочки (по ГОСТ 22782.2—77), обеспечивающее получение достаточного защитного слоя заполнителя вокруг токоведущих и находящихся под напряжением частей электрооборудования;

масляное заполнение оболочки (по ГОСТ 22782.1-77), при котором токоведущие и находящиеся под напряжением части электрооборудования находятся под защитным слоем жидкого негорючего диэлектрика, заполняющего оболочку;

специальный вид взрывозащиты (по ГОСТ 22782.3-77), который может обеспечиваться: заключением электрических частей в герметическую оболочку; герметизацией электрооборудования изоляционными материалами (например, эпоксидным компаундом); помещением в оболочку со специальным наполнителем, исключающим контакт электрических частей с взрывоопасной средой; воздействием на взрывоопасную смесь, проникающую в оболочку электрооборудования, специальными устройствами или веществами для поглощения или снижения ее концентрации до значений, при которых исключается возможность взрыва; другими средствами, обеспечивающими необходимый уровень взрывозащиты электрооборудования;

автоматическое защитное отключение, обеспечивающее снятие напряжения с токоведущих частей электрооборудования при разрушении защитной оболочки за время, исключающее воспламенение взрывоопасной среды.

В рудничном электрооборудовании могут применяться одновременно несколько видов взрывозащиты, например, защита вида "е", взрывонепроницаемая оболочка и искробезопасная электрическая цепь.

Масляное заполнение оболочки и автоматическое защитное отключение пока не получили широкого применения.

8.3. Рудничное нормальное электрооборудование (РН) [1]

Особенности исполнения рудничного нормального электрооборудования, т.е. всех составляющих его отдельных аппаратов (изделий, устройств), связанные с предъявляемыми к нему специфическими требованиями (повышенными по отношению к электрооборудованию общего назначения), установлены ГОСТ 24754-81.

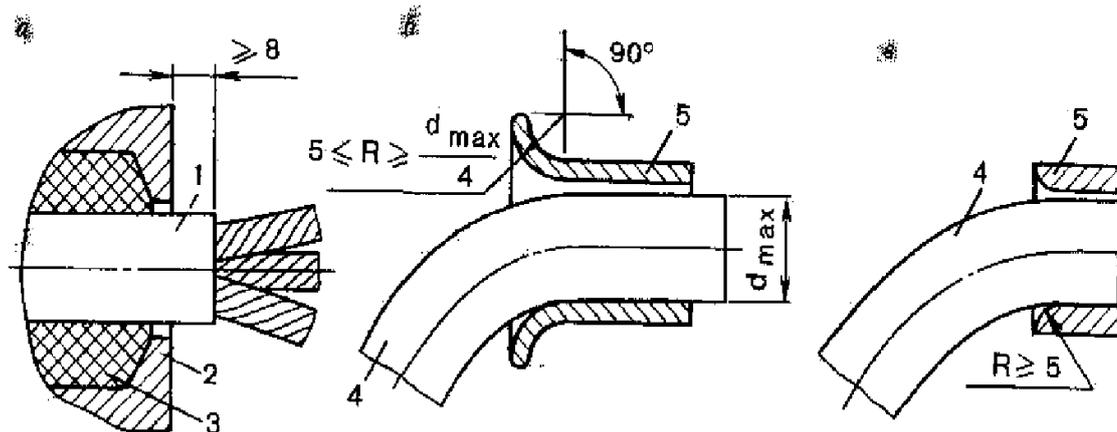


РИС. 10.1. Элементы вводных устройств рудничного нормального электрооборудования:

1 — наружный покров кабеля; 2 — стенка вводного устройства; 3 — уплотнение; 4 — кабель; 5 — вводная часть нажимной муфты

ны предохранять их от проворачивания и выдергивания. В передвижных аппаратах нажимные муфты кабельных вводов имеют раструбы (рис. 10.1, б), в стационарных и переносных аппаратах при использовании средств защиты кабеля от повреждений (резиновый шланг, металлорукав, защитная пружина и др.) — закругленную кромку (рис. 10.1, в).

Для защиты от проникновения пыли и воды в оболочку аппаратов через место ввода кабеля применяют для стационарных аппаратов заливку кабеля затвердевающей изоляционной массой, а в остальных случаях используют резиновые уплотнения. Кабельные вводные устройства, рассчитанные на ввод кабелей различных диаметров, комплектуются набором уплотнений с различными диаметрами отверстий или уплотнениями с кольцевыми надрезами. Вводные устройства электрооборудования при хранении и транспортировании, а также не используемые в процессе эксплуатации должны быть закрыты заглушками, предохраняющими от попадания воды и пыли.

Конструкция смотровых окон, имеющих в некоторых аппаратах, должна обеспечивать защиту от внешних воздействий и возможность замены прозрачных элементов.

Токоведущие части выводов и контактных соединений изготавливают из меди и латуни. Токоведущие шины в силовых цепях аппаратов, применяемых на рудниках, могут изготавливаться из алюминия; применять алюминий в аппаратах, предназначенных для подземных выработок угольных шахт, запрещается.

Для заземления металлических оболочек в стационарных аппаратах на оболочке устанавливают наружный заземляющий зажим (болт, шпилька) диаметром $d \geq 8$ мм для аппаратов с силовыми цепями и $d \geq 6$ мм для аппаратов сигнализации и освещения. На оболочках аппаратов, рассчитанных на ввод бронированного кабеля, для заземления его брони также устанавливают наружный заземляющий зажим. Около этих зажимов на оболочку наносят нестираемый при эксплуатации знак заземления. Использовать для заземления крепежные болты или шпильки не допускается.

Внутренние заземляющие зажимы указанного выше диаметра устанавливаются внутри оболочки в месте ввода кабеля.

Изоляция в электрооборудовании может быть двух уровней — 1 и 2. Изоляцию уровня 1 применяют в электрооборудовании, эксплуатируемом при относительной влажности окружающей среды $98 \pm 2\%$ (с конденсацией влаги) при температуре $35 \pm 2^\circ\text{C}$, а изоляцию уровня 2 — при относительной влажности $98 \pm 2\%$ при температуре $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

В рудничном электрооборудовании, предназначенном для работы в угольных шахтах, используется изоляция уровня 1. Она находится в тяжелых условиях эксплуатации. Вследствие высокой влажности окружающей среды и наличия в рудничном воздухе сернистого ангидрида, окислов азота и других веществ на поверхности изоляционных материалов конденсируется влага, имеющая кислотные свойства. Это способствует возникновению *трекинга* — повреждения поверхности изолятора поверхностным пробоем, в результате которого образуются проводящие следы. Изоляционные материалы уровня 1 делятся по трекингоустойчивости (т.е. по способности изолятора выдерживать действие поверхностных пробоев без образования трекинга) на группы а (наиболее трекингоустойчивые), б, в, г.

Для рудничного электрооборудования в связи с указанными тяжелыми условиями эксплуатации устанавливаются большие, чем для электрооборудования общего назначения пути утечки и электрические зазоры. *Путь утечки* — это кратчайшее расстояние по поверхности электроизоляционного материала между токоведущими частями разного потенциала или между токоведущей и заземленной частями электрооборудования. *Электрический зазор* — кратчайшее расстояние в окружающей среде между неизолированными токоведущими частями разного потенциала или между неизолированной токоведущей и заземленной частями.

Пути утечки обычно находятся не в одной плоскости, чтобы не образовывался непрерывный слой пыли. Это достигается выполнением на изоляционной детали закругленных ребер, канавок, выступов и ступенек.

Значения длины путей утечек для изоляционных материалов (уровня 1) различных групп по трекингостойкости и электрических зазоров в зависимости от рабочего напряжения установлены ГОСТ 24719–81. Эти значения, а также другие требования к изоляции одинаковы для рудничного нормального и взрывозащищенного электрооборудования.

Крышки аппаратов, закрывающие доступ к токоведущим частям, снабжаются блокировкой, препятствующей открыванию крышки при наличии на них напряжения. На крышках соединительных и вводных коробок блокировку не устраивают, а ограничиваются предупредительной надписью: "Открывать, отключив от сети", "Открывать, отключив разъединитель" и т.п. При отключенном блокировочном разъединителе обычно создается видимый разрыв контактов. Если это невозможно, то о выключении разъединителя судят по положению его рукоятки, жестко связанной (например, сопряжением по квадрату) с приводным валиком.

Соединители монтируются так, чтобы розетка и вилка находились со стороны соответственно питания и нагрузки. В разомкнутом состоянии соединителя контактные гнезда розетки защищаются от попадания посторонних предметов и воды. В вилке соединителя контакт для заземляющей жилы кабеля имеет большую длину, чем контакты в силовых цепях, чтобы замыкание в цепи замыкающей жилы происходило раньше замыкания контактов в силовых цепях, а размыкание – позже.

Все электрические изделия должны иметь маркировку. Маркировочные данные проставляются на паспортных табличках. РН ЭО снабжается дополнительной маркировкой, содержащей условное наименование этого вида ЭО и уровня изоляции (РН1, РН2) и располагаемой в окружности на видном месте оболочки.

Изоляция в электрооборудовании может быть двух уровней – 1 и 2. Изоляцию уровня 1 применяют в электрооборудовании, эксплуатируемом при относительной влажности окружающей среды $98 \pm 2\%$ (с конденсацией влаги) при температуре $35 \pm 2^\circ\text{C}$, а изоляцию уровня 2 – при относительной влажности $98 \pm 2\%$ при температуре $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

Для угольной промышленности следует применять ЭО с маркировкой РН1.

8.4. Рудничное взрывозащищенное электрооборудование (РВ) [1]

К рудничному взрывозащищённому электрооборудованию (ЭО) предъявляются дополнительные требования (ГОСТ 22782.0-81) исключающие возможность взрыва метановоздушной или пылевоздушной среды. Нагрев поверхности электрооборудования, на котором может осесть угольная пыль, ограничен до 150 C^0 .

Дополнительные требования предъявляются к вводным устройствам, соединительным контактным зажимам и изоляторам, блокировке, вращающимся электрическим машинам, световым приборам, коммутационным аппаратам, предохранителям.

Электрооборудование повышенной надёжности против взрыва (РП) обеспечивается:

- искробезопасной электрической цепью уровня Ис;
- защитой вида «е_с»;
- взрывонепроницаемой оболочкой, выполненной для ЭО подгруппы 1В.

Взрывобезопасное ЭО обеспечивается:

- искробезопасной электрической цепью уровня Ив;
- защитой вида е_в;
- специальным видом взрывозащиты;
- кварцевым заполнением оболочки;
- защита вида е_с с повышенной надёжности против взрыва.

Особовзрывобезопасное ЭО (РО) обеспечивается:

- искробезопасной электрической цепью уровня Иа;
- специальным видом взрывозащиты;
- «взрывонепроницаемой оболочкой», «кварцевым заполнением» и т.д.

Приведём описание отдельных видов взрывозащиты.

Взрывонепроницаемая оболочка:

- достигается прочностью взрывонепроницаемых частей ЭО, щелей, через которые взрыв внутри оболочки не передаётся в окружающую среду, бла-

годаря снижению температуры газов, проходящих через щель;

- образованием отсеков внутри оборудования.

Рудничное электрооборудование с взрывонепроницаемой оболочкой должно иметь взрывозащиту, выполненную с учетом дугового короткого замыкания, связанного с аварийным замыканием электрических частей разных фаз (разных полюсов) и образованием электрической дуги при нормальном действии средств максимальной токовой защиты.

Рудничное электрооборудование с взрывонепроницаемой оболочкой, выполненной с учетом дугового к.з., подразделяется на подгруппы 2В, 3В и 4В в зависимости от номинального напряжения $U_{\text{ном}}$ и тока $I_{\text{к}}$ металлического к.з. (повреждения электрооборудования, связанного с аварийным замыканием частей разных фаз без образования электрической дуги): 2В – при $100 < U_{\text{ном}} \leq 220$ В и $100 < I_{\text{к}} \leq 600$ А; 3В – при $220 < U_{\text{ном}} \leq 1140$ В и $I_{\text{к}} > 100$ А; 4В – при $U_{\text{ном}} > 1140$ В и $I_{\text{к}} > 100$ А.

Взрывонепроницаемая оболочка ЭО и её крепёжные элементы должны выдерживать давление взрыва внутри оболочки, а для ЭО подгрупп 2В, 3В, 4В также и давление, возникающее при дуговом к.з.

«Искробезопасная электрическая цепь» . Данный вид защиты обеспечивается: ограничением напряжения и тока; шунтированием реактивных элементов, способных запасать энергию; гальванической развязкой между искробезопасными и искроопасными цепями, а также между разными группами искробезопасных цепей. Эти мероприятия осуществляются с помощью специальных искрозащитных элементов (ограничительных, шунтирующих и разделительных).

В качестве разделительных элементов используются в основном реле и контакторы, трансформаторы. Могут применяться также оптоэлектронные устройства.

Искробезопасные цепи характеризуются:

- минимальным воспламеняющим током (напряжением, мощностью, энергией), который вызывает воспламенение взрывоопасной метановоздушной среды с вероятностью 10^{-3} , т.е. при одном воспламенении на одну тысячу искрений

искробезопасным током (напряжением, мощностью, энергией), представляющим собой наибольший ток (напряжение, мощность, энергию) который в цепи, образующей разряды, не вызывает воспламенения метано воздушной среды при установленных условиях испытаний.

Отношение минимальных воспламеняющих параметров (тока, напряжения, мощности, энергии) к соответствующим искробезопасным параметрам называется *коэффициентом искробезопасности*. Значение его должно быть не менее 1,5.

Искробезопасные электрические цепи разделяются на три уровня (Ia, Ib, Ic) в зависимости от уровня взрывозащиты, который эти искробезопасные цепи обеспечивают: Ia – особовзрывобезопасный; Ib – взрывобезопасный; Ic – повышенная надёжность против взрыва.

Защита вида "е". Этот вид защиты достигается применением следующих мер. Оболочка электрооборудования должна иметь степень защиты от внешних воздействий не ниже IP44 при изолированных токоведущих частях и не ниже IP54 при неизолированных. Ограничивается плотность тока в контактных соединениях до 2,5 А/мм². Проводники в местах пайки должны быть предварительно скручены. Устанавливаются минимальные значения удельной ударной вязкости для изоляционных материалов.

Защита вида «е» подразделяется на защиту «е_с» для получения ЭО повышенной надёжности против взрыва и защиту «е_в» для взрывобезопасного ЭО. Защита «е_с» должна выполняться [2, 3].

с учетом приведенных выше требований. Взрывобезопасное электрооборудование с защитой "е_в" должно иметь дополнительные конструктивные средства, применение которых обеспечивает уровень взрывозащиты не ниже уровня, создаваемого взрывонепроницаемой оболочкой.

"Кварцевое заполнение оболочки". Этот вид защиты применяется для электрооборудования, не имеющего нормально искрящих и подвижных частей. Однако, если такие части, например, электромагнитные реле, включены в цепи, не опасные в отношении аварийного дугового разряда, и имеют собственную оболочку со степенью защиты не ниже IP54, то они могут помещаться в заполнитель.

Оболочка для заполнителя должна выдерживать внутреннее избыточное давление 0,05 МПа и иметь в собранном виде степень защиты не ниже IP54. При снятии крышек заполнитель не должен высыпаться.

В качестве заполнителя применяется сухой кварцевый песок с гранулометрическим составом от 0,25 до 1,6 мм (преобладающие фракции – 0,5 ÷ 1,25 мм) и содержанием кварца не ниже 96 %. При засыпке кварцевого песка для лучшего заполнения всех пустот электрооборудование подвергают принудительной вибрации с частотой 25–50 Гц и амплитудой колебаний $1 \pm 0,2$ мм не менее 5 мин.

Маркировка взрывозащиты электрооборудования. Эта маркировка состоит из двух частей.

В первой части указывается знак уровня взрывозащиты: РП – для электрооборудования повышенной надежности против взрыва; РВ – для взрывобезопасного электрооборудования; РО – для особовзрывобезопасного электрооборудования.

Во второй части выполняют знак вида взрывозащиты: 1В, 2В, 3В или 4В – “взрывонепроницаемая оболочка”; Ia, Ib или Ic – “искробезопасная электрическая цепь”; “e_b” или “e_c” – защита вида “е”; С – специальный вид взрывозащиты; 1К (если защитный слой заполнителя рассчитан по условиям искрового разряда) или 2К (при расчете защитного слоя по условиям дугового к.з. или однофазного дугового разряда) – “кварцевое заполнение оболочки”. При использовании защитных экранов к обозначению вида взрывозащиты 1К или 2К добавляют букву Э, например, 2КЭ.

Знак уровня взрывозащиты помещают в окружность; знак вида взрывозащиты – в прямоугольник, располагаемый справа или снизу от окружности. Маркировку электрооборудования выполняют на видимом месте оболочки рельефными знаками или на табличке, прикрепленной к оболочке. При этом необходимо обеспечить сохранность маркировки в течение всего срока службы электрооборудования в условиях, для которых оно предназначено. Электрооборудование с видом защиты “Искробезопасная электрическая цепь” должно иметь дополнительную надпись: “В комплекте ...”, в которой указывается сокращенное наименование комплекта электрооборудования или системы, содержащей данное изделие. Ниже приведены примеры маркировки взрывозащиты.

Электрооборудование взрывобезопасное;
взрывонепроницаемая оболочка подгруппы ЗВ

Ⓟ ЗВ

Электрооборудование взрывобезопасное;
взрывонепроницаемая оболочка 1В и искробезопасные электри-
ческие цепи Ia, Ib; входят в комплект.....

Ⓟ 1В Ia, Ib
В комплекте...

Электрооборудование особовзрывобезопасное; кварцевое за-
полнение оболочки:

защитный слой рассчитан по условиям искрового разряда

Ⓟ 1К

защитный слой экранирован и рассчитан по условиям ду-
гового к.з. или однофазного дугового разряда

Ⓟ 2КЭ

8.5. Область применения электрооборудования с различным Уровнем взрывозащиты

Область и условия применения рудничного нормального электрооборудова-
ния и взрывозащищенного с различным уровнем взрывозащиты, а также
электрооборудования общего назначения устанавливается ПБ [5] в зависи-
мости от категории шахты по газу, характеристики разрабатываемых пла-
стов, схемы проветривания и др.

Электрооборудование общего назначения временно, с разрешения техни-
ческого директора производственного объединения допускается применять
в шахтах, не опасных по газу или пыли. Светильники общего назначени-
для освещения забоя могут применяться в этих шахтах при напряжени-
не выше 24 В, а измерительными приборами общего назначения можно пол-
зоваться во всех выработках этих шахт (§ 400 ПБ).

На шахтах, опасных по газу или пыли, допускается применение электр-
оборудования общего назначения в помещениях вентиляторных и калори-

ферных установок, а также в электромашинных помещениях подъемных установок на стволах с исходящей струей воздуха при условии, что в эти помещения не попадают шахтный воздух и угольная пыль.

При проходке вертикальных стволов шахт, опасных по газу или пыли, с разрешения технического директора производственного объединения допускается применение электродвигателей общего назначения для подвесных насосов при условии содержания метана в месте их расположения не более 1 %.

Рудничное нормальное электрооборудование допускается применять во всех выработках шахт, не опасных по газу и пыли, а также в стволах, околоствольных выработках со свежей струей воздуха и в камерах стационарных установок (проветриваемых за счет общешахтной депрессии) шахт, опасных по газу или пыли, если в этих и прилегающих к ним выработках, подающих свежую струю воздуха, не имеется сульфидных выделений, и шахта не относится к опасным по внезапным выбросам. В шахтах I и II категории по газу с разрешения технического директора производственного объединения допускается применять рудничное нормальное электрооборудование в откаточных выработках со свежей струей воздуха.

Электрооборудование повышенной надежности против взрыва допускается применять в откаточных выработках со свежей струей воздуха шахт I, II и III категорий по газу и сверхкатегорных или опасных по пыли, если в выработках отсутствует сульфидное выделение метана.

Аккумуляторные электровозы повышенной надежности против взрыва допускается применять во всех выработках шахт I и II категорий и опасных по пыли, а в шахтах III категории и сверхкатегорных — только в выработках со свежей струей воздуха. Электровозы повышенной надежности против взрыва можно использовать в выработках со свежей струей воздуха на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа, а с сульфидными выделениями — при условии, что электровозы не подходят к очистному забою ближе чем на 50 м.

Аккумуляторные светильники индивидуального пользования повышенной надежности против взрыва допускается применять во всех случаях.

Взрывобезопасное электрооборудование может применяться во всех выработках, где разрешено использовать рудничное нормальное электрооборудование и повышенной надежности против взрыва, и должно применяться в очистных и подготовительных выработках шахт, опасных по газу или пыли, в выработках с исходящей струей воздуха, с суфлярным выделением метана и др. Взрывобезопасное электрооборудование допускается применять в очистных и подготовительных выработках шахт, опасных по внезапным выбросам, но на пластах, не опасных по выбросам. Применение электрооборудования в указанных выработках на опасных по выбросам пластах допускается при условии проведения специальных защитных мероприятий (ПБ, § 389).

На крутых пластах, опасных по внезапным выбросам, взрывобезопасное электрооборудование может размещаться в выработках со свежей и исходящей струей на расстоянии не менее 150 м от забоев подготовительных выработок и не менее 50 м от очистных забоев.

* Особовзрывобезопасное электрооборудование может применяться во всех случаях без ограничений.

Защита электроустановок в аварийных режимах и режимах эксплуатации

9. 1. Эксплуатационные режимы электроустановок и основные виды их защиты

Специфические условия эксплуатации электроустановок на горных предприятиях определяют частое возникновение их повреждений. Несвоевременное устранение неисправностей, которые возникли; влияние влажной атмосферы, пыли на оборудование и кабели приводят к появлению токов истока на землю, которые, при соответствующих условиях, могут переходить в тока КЗ. С целью уменьшения вероятности появления опасного состояния элементов электрооборудования и повышения электробезопасности, необходимо соблюдать периодичности профилактических обзоров и ремонтов, выполнять непрерывный контроль состояния электрооборудования с помощью разных видов защиты [4].

Таким образом основной задачей защиты есть автоматический непрерывный контроль режима работы электрического оборудования и автоматическое отключение аварийного участка при хранении в работе других участков.

Различают две основные группы средств защиты:

1. Защита персонала и окружающей среды (виды защиты рассмотрены выше).

2. Защита электрооборудования.

Последняя группа имеет название эксплуатационной защиты и выполняется, как правило, вместе с коммутационным оборудованием. В свою очередь эта группа защиты также делится на две:

1) защита от повреждения - имеет задачу предупредить развитие уже возникшего повреждения изоляции, чтобы предупредить действие тока короткого замыкания на невредимые элементы цепи, предупредить спалахивания электрооборудования под действием токов, уменьшить убытки от повреждения и ускорить ремонт, сделать его более дешевым. Возможными видами повреждения есть: замыкание между фазами; замыкание на землю; міжвиткові замыкание; обрыв или повышения сопротивления в контактной цепи.

Во всех случаях (кроме последнего) появляются большие или меньшие

значения тока (максимальная защита, защиты на основе использования токов симметричных составляющих - фильтровые защиты, защита от токов истока на землю).

2) защита от ненормальных режимов работы - имеет задачу предупредить повреждение еще исправных элементов электрических цепей из-за недопустимого нагрева изоляции вследствие повышения тока при увеличении нагрузки, продолжительности пуска, снижение напряжения и др.

Ненормальные режимы - все режимы, при которых невредимые электроустановки начинают потреблять ток больше допустимого для данной температуры внешней среды. В момент возникновения ненормальных режимов не являются опасными. Но, если своевременно не принять меры, они могут перейти в аварийные (с повреждением элементов). Кроме этого, ненормальные режимы сокращают срок службы электроустановки вследствие интенсивного старения изоляции.

К ненормальным режимам относятся симметричные перегрузки двигателей; технологические перегрузки пусковыми токами опасной продолжительности из-за пуска, который не состоялся или затянулся; частые включения двигателя; неповнофазні режимы работы двигателей; сниженное напряжение и др.

9.2. Защита от токов короткого замыкания

Основными причинами возникновения токов короткого замыкания в рудниковых электроустановках есть [13]:

- повреждение кабелей породой, которая обвалилась (29,2 %);
- выдергивание кабелей из вводов электрооборудования в результате механического действия на кабеле при перемещении отбойного оборудования (45,8 %);
- повреждение междуфазной изоляции (4,2 %);
- неправильный монтаж электрооборудования (8,3 %);
- другие повреждения кабеля (12,5 %).

Короткие замыкания являются причиной 65 % пожаров и 35 % взрывов в шахтах.

Основные требования защиты от токов короткого замыкания:

- высокая чувствительность, коэффициент чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = I_{\text{к.з. min}} 1,5(1,25)^3 / I_{\text{с}}$$

где $I_{\text{к.з. min}}$ – минимальное значение тока к.з. в зоне защиты, А; $I_{\text{с}}$ – ток срабатывания защиты, А;

$K_{\text{ч}} = 1,25$ допускается, если электрическая сеть выполнена бронированными

или гибкими экранированными кабелями, когда короткое замыкание сопровождается истоком на землю и срабатыванием защиты от токов истока на землю.

Коэффициент чувствительности выбирается из условия обеспечения надежного срабатывания максимальной защиты:

- высокое быстродействие, для обеспечения пожарной безопасности кабелей при $K_{\text{ч}}=1,5$ время отключения не должен превышать 0,2 с (для пускатей и высоковольтных распределительных устройств) и 0,1 с (для автоматических выключателей);

- зона действия максимальной защиты - это предельное сопротивление сети, при котором еще обеспечивается защита от токов КЗ с необходимым коэффициентом чувствительности.

Зона действия защиты от токов КЗ должна превышать предельное сопротивление сети $Z_{\text{мн}}$, выбранного при условии нормальной эксплуатации оборудования и составляет:

$$Z_{\text{мн}} = (0,53...0,7) Z_{\text{дв.г}},$$

где $Z_{\text{дв.г}}$ - сопротивление фазы электродвигателя в пусковом режиме, Ом.

9.3. Максимальная защита с помощью плавких предохранителей

Плавкие предохранители широко используются в распределительных щитах общепромышленного выполнения, в ручных пускатях, в рудниковой аппаратуре, которая выпускается в ФРГ.

Они простые за своим строением, имеют относительно высокую коммутационную способность, компактные, ограничивают ток КЗ, имеют относительно большое быстродействие при токах КЗ близко $20 \cdot I_n$. Однако они имеют и много недостатков.

Одним из недостатков максимальной защиты с помощью плавких предохранителей есть возможность неповнофазных режимов работы электродвигателей при расплавлении плавкой вставки. Этот недостаток легко ликвидируется с помощью использования двообмоткового реле, подключенного параллельно предохранителям и дающего команду на отключение напряжения при перегорании плавкой вставки [13, 16].

Кроме этого однократность действия предохранителей требует необходимость изменения плавкой вставки после каждого срабатывания, а для этого нужно

относительно много времени.

Принимая к вниманию выше указанные недостатки, Правилами Безопасности рекомендуют использовать плавкие вставки в максимальной защите потребителей с токами плавких вставок до 160 А в сетях 380...660 В, и для защиты маломощных потребителей в сетях напряжением 127 В.

9.4. Защита от токов короткого замыкания с помощью максимальных реле

Преимуществом максимальных реле перед предохранителями следующие:

- мгновенное и одновременное отключение токов в трех фазах;
- минимальное время, нужное для повторного включения электроустановки после ее отключения вследствие значительного перегрузки или КЗ;

- легкость регулирования уставки срабатывания;

- реле имеет значительно большее быстродействие, чем предохранители.

В схемах защиты подземных электроустановок распространения получили как первичные, так и вторичные реле и розщеплювачі прямого и побочного действия. В рудниковой аппаратуре отечественного производства, как и в странах Европы, распространение получили реле клапанного типа, в которых уставка срабатывания регулируется натяжением пружины. Общим конструктивным недостатком первичных реле есть нестабильность их характеристик срабатывания.

Исследования показывают, что выстройка первичных максимальных реле от токов переходного процесса, при пусковых режимах электродвигателя, может быть реализованная, если вставка защиты выбрана по условию:

- при запуске неподвижного двигателя:

$$I_c = (1,20...1,25) \cdot I_{п.ф},$$

где $I_{п.ф}$ – фактический пусковой ток;

- при повторных включениях обертяющегося электродвигателя:

$$I_c = (1,6...1,7) \cdot I_{п.ф}.$$

Расчеты показывают, что зона действия первичных максимальных реле при выстройці от токов переходного процесса в режиме повторных включений:

$$Z_{\text{МН.}} = (0,47 \dots 0,54) \cdot Z_{\text{ДВ.Г.}}$$

то есть, зона действия первичных максимальных реле меньше предельного сопротивления кабельной линии по условиям эксплуатации электрооборудования. Поэтому в современных защитах первичные реле не используются.

В пускатях серии ПВИ и в станциях управления СУВ была использованная максимальная универсальная защита УМС (рис. 9.1).

Схема защиты составляется с двух одинаковых цепей, каждый из которых включает трансформатор тока, шунтующие резисторы $R_{\text{ш}}$, $R_{\text{п}}$, регулирующий резистор $R_{\text{р}}$ выпрямляющего моста UZ и исполняющего реле постоянного тока K . Ток вторичной обмотки трансформатора тока I_2 , что определяется первичным током нагрузки I_1 , создает на шунтующему опоре $R_1 = R_{\text{ш}} \cdot R_{\text{п}} / (R_{\text{ш}} + R_{\text{п}})$ напругу, что подается на выпрямляющий мост, нагрузкам которого есть реле K .

При подачи на обмотку реле напряжения, ток в ней меняется по экспоненциальным закону. Параметры шунтующих сопротивлений и катушки реле выбраны так, что магнитный поток в магнитопроводе при переходных процессах в сети, обусловленных пусковыми токами электродвигателя, не достигает потока сдвига, который дает возможность наладженення защиты за фактическим пусковым током.

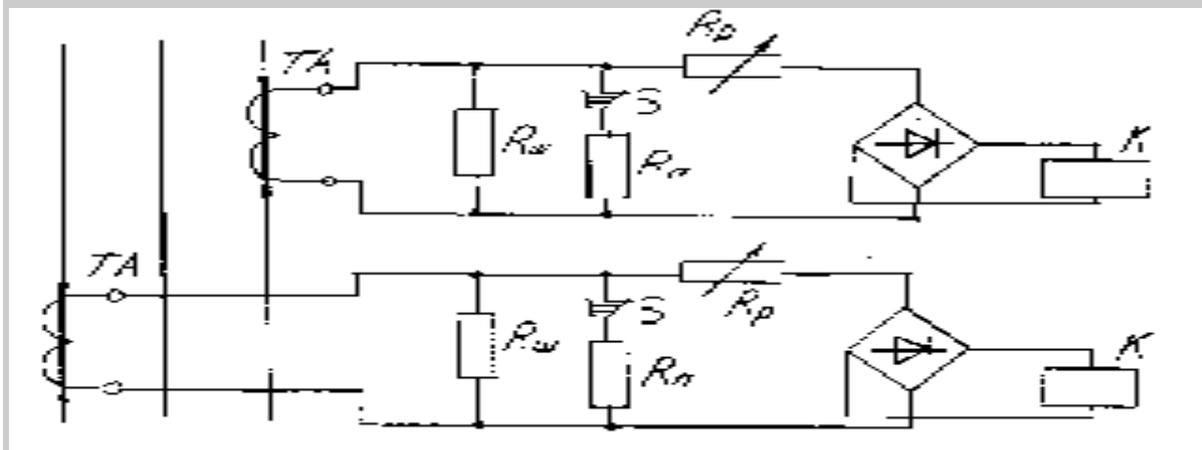


Рис. 9.1. Принципиальная схема максимального реле защиты тока

Для проверки действия защиты УМС используется кнопка S УМС. При этом общее сопротивление, приеднанний параллельно трансформатору тока И, увеличивается и становится равным Rш. и, при запуска двигателя, защита УМС срабатывает, потому что напряжение на реле К повышается.

9.5. Защита от перегрузок

В процессе эксплуатации электроустановок возникают перегрузки электродвигателей и коммутационно-пусковой аппаратуры из-за разных причин: технологических; при повреждении машин и механизмов, которые вызывают повышение момента сопротивления; при отклонениях напряжения на зажимах потребителя от номинальной и прочие. Перегрузка оборудования связанные с резким повышением тока, который потребляется электродвигателями, и соответствующим повышением температуры токопроводящих частей и изоляции. Это ведет к уменьшению срока службы изоляции

Если двигатель работает в продолжительном режиме работы то задача защите упрощается. Когда двигатель начинает потреблять большой ток, защита должен отключить двигатель за время, при котором обмотки его нагреваются не выше $(1,1...1,2) Q_{\text{доп}}$. В промышленности для защиты от перегрузка широкая распространение получили тепловые реле, выполненные на основе биметаллической пластины (рис. 9.2).

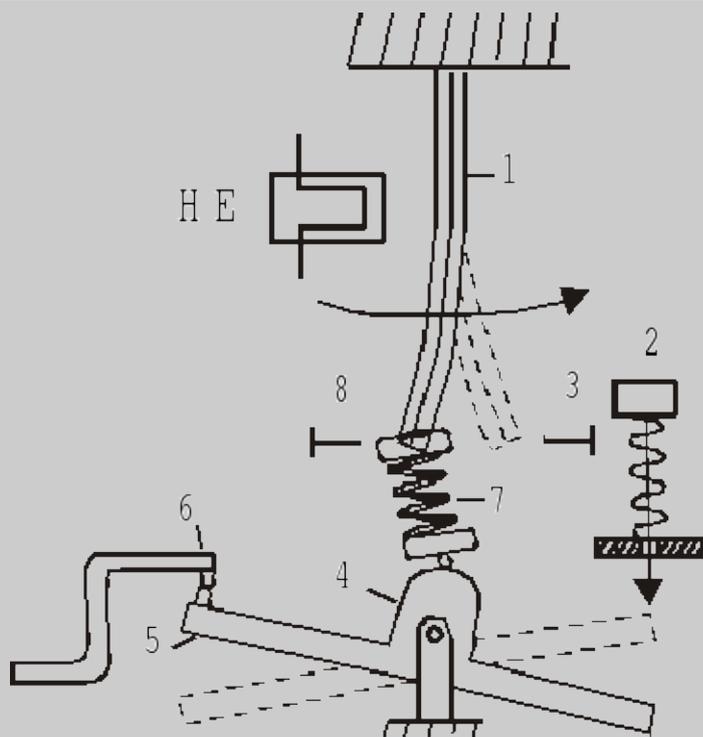


Рис. 9.2. Тепловое реле:

1 - биметаллическая пластина; 2 - кнопка возвращения; 3,8 - упоры; 4 - пластиковая колодка; 5,6 - подвижный и неподвижный контакты; 7 – пружина.

9.6. Минимальная и нулевая защита

При работе электроустановок напряжение в сети не является строго постоянной, имеют место отклонения напряжения на зажимах потребителей от номинальной.

При работе асинхронного двигателя с фазным ротором, при отклонении напряжения к 60...70 % от номинальной, ток двигателя повышается, вызывая перегрев обмоток. Электродвигатель должен быть отключенным от сети.

Для электроустановок опасной есть также внезапное появление напряжения на неработающей машине, с точки зрения безопасности работы. Для предотвращения этого служит нулевая защита. Минимальная защита выключает электроустановки при снижении напряжения к 60...70 %, а нулевой - при ее исчезновении или снижении к 15...40 % от номинальной.

Таким образом минимальная и нулевая защиту имеют следующее назначение:

- защита двигателей от сверхтоков, которые имеют место при восстановле-

нии напряжения после отключения короткого замыкания в сети;

- защита двигателей от зверхструмів, которые имеют место при них запуска после перерыва в питании;

- защита электродвигателей и машин и механизмов от повреждений, возможных при запуска машин без пусковых устройств.

- предотвращение неожиданного для обслуживающего персонала самовольного включения машин после продолжительного перерыва в питании.

Повышение безопасности использования электроустановок

10.1. Виды защит электроустановок от ненормальных аварийных режимов работы

При работе различных электроустановок при возникновении аварийных ситуаций могут возникать сбои, поломки и в некоторых случаях пожары. Поэтому необходимо обеспечить защиту оборудования от электрических и механических повреждений. При правильном подходе к решению данной задачи можно существенно увеличить срок эксплуатации установок без поломок. Здесь будут рассмотрены основные виды их защит, которые позволяют обеспечить максимальный уровень их работоспособности за счёт своевременного отключения при авариях [8, 16].

Почему необходима защита электроустановок от аварийных ситуаций?

При работе электроустановок нужно обеспечить согласование всех подсистем с энергосистемой с целью предотвращения возможных аварийных ситуаций.

Наиболее уязвимые устройства, которые особо нуждаются в защите, так это электродвигатели, силовые механизмы, полупроводниковые системы управления. Основными влияющими факторами на их работоспособность являются:

§ Короткие замыкания во внешних и внутренних цепях, приводящих к перегоранию незащищённых элементов.

§ Ступор двигателя или механизма в момент старта, приводящий к перегреву силового агрегата и выходу его из строя.

§ Несоблюдение режимов работы оборудования, например, превышение допустимых нагрузок, несоответствие условий эксплуатации и т. д.

§ Неисправности системы охлаждения, вызванное сбоем или поломкой.

§ Старение внутренней или внешней электропроводки и компонентов с необратимой потерей их электрических свойств.

Все эти факторы могут иметь кратковременное или длительное влияние на работу установок и существенно снижать их эксплуатационный ресурс. В результате могут возникать частые поломки и длительные простои оборудования, сопровождающиеся дорогостоящими ремонтами. Чтобы существенно снизить вероятность возникновения таких ситуаций, нужно грамотно продумывать

мывать и реализовывать подключение защитных устройств. Но для этого нужно знать все возможные методы защиты.

10.2. Виды защит электроустановок

Методы защиты, которые позволяют защитить установку от повреждений, могут быть выполнены в виде отдельных устройств либо встроенные. Их подбирают в зависимости от условий эксплуатации, конструктивных особенностей, требований техники безопасности, а также специфики проводимых работ, которые могут вызывать перегрузки отдельных узлов, механизмов или электрической подсистемы. Поэтому при планировании обеспечения защитных мер нужно правильно подбирать тип защиты с подходящими техническими параметрами.

Существуют следующие виды защит от аварий:

§ Тепловые, которые реагируют на повышение температуры контролируемых узлов, позволят своевременно отключить электропитание в случае превышения рабочего токового диапазона или напряжения. К ним относятся тепловые механические, электромеханические и электронные реле, расцепители цепи и т. д. [17].

§ Устройства для защиты от аварий в электросетях, которые подключаются непосредственно перед установкой либо в точке ввода в помещение и обеспечивают прерывание подачи питания в случае возникновения замыканий на линии: фазные и токовые реле, сетевые мониторы.

§ Термочувствительные устройства, работа которых основана на измерении термосопротивления при помощи термопар или других электрических параметров, изменяющихся в зависимости от температуры датчика, установленного на узле электроустановки. К ним относятся термостаты и термисторы.

§ Приборы, измеряющие максимальные токовые нагрузки (электронные токовые реле или комплексные устройства защиты). В основном их устанавливают на мощные установки, которые при старте и в процессе работы способны потреблять значительные токи с целью предотвращения перегрузок оборудования или основной питающей сети. Позволяют заблаговременно обнаруживать выходящие из строя детали, например, двигатели или силовые агрегаты.

§ Токозависимые элементы: предохранители, автоматические выключатели и т. д. Способны реагировать на всплески токовой составляющей и в результате отключать подачу напряжения на электроустановку.

§ Устройства комбинированные. Позволяют обеспечить одновременно несколько степеней защиты от аварийных ситуаций на основе комбинации вышеперечисленных видов.

10.3. Ток короткого замыкания

На рисунке 1 показана схема включения электрической лампы накаливания в электрическую сеть. Если сопротивление этой лампы $r_{л} = 240$ Ом, а напряжение сети $U = 120$ В, то по [закону Ома](#) ток в цепи лампы будет:

$$I = \frac{U}{r_{л}} = \frac{120}{240} = 0,5 \text{ А.}$$

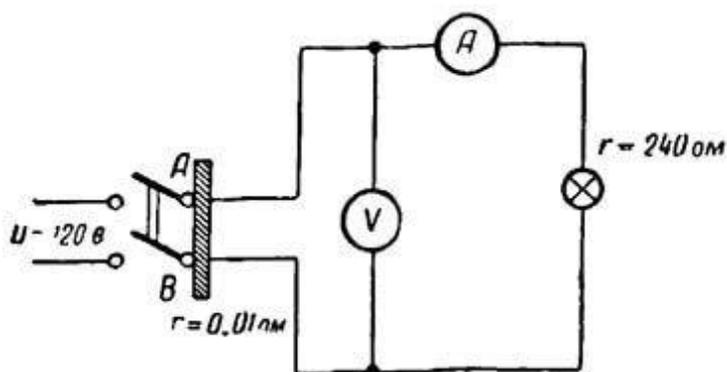


Рис. 10.1. Схема короткого замыкания на зажимах рубильника

Разберем случай, когда провода, идущие к лампе накаливания, оказались замкнутыми через очень малое сопротивление, например толстый металлический стержень с сопротивлением $r = 0,01$ Ом, случайно попавший на два провода. В этом случае ток сети, проходя к точке А, будет разветвляться по двум путям: одна большая его часть, пойдет по металлическому стержню – пути с малым сопротивлением, а другая, небольшая часть тока, будет проходить по пути с большим сопротивлением – лампе накаливания.

Аварийный режим работы сети, когда вследствие уменьшения ее сопротивления ток в ней резко увеличивается против нормального, называется **коротким замыканием**.

Определим какова сила тока короткого замыкания, текущего по металлическому стержню:

$$I_{кз} = \frac{U}{r_{л}} = \frac{120}{0,01} = 12\,000 \text{ А.}$$

На самом деле в случае короткого замыкания напряжение сети будет меньше 120 В, так как большой ток создаст в сети большое падение напряжения и по-

этому ток, протекающий по металлическому стержню, будет меньше 12 000 А. Но все же этот ток будет во много раз превышать ток, потреблявшийся ранее лампой накаливания.

Мощность короткого замыкания при токе $I_{кз} = 12\ 000\ \text{А}$ составит:

$$P_{кз} = U \times I_{кз} = 120 \times 12\ 000 = 1\ 440\ 000\ \text{Вт} = 1\ 440\ \text{кВт} .$$

Ток, проходя по проводнику, выделяет тепло, и проводник нагревается. В нашем примере сечение проводов электрической цепи было рассчитано на небольшой ток – 0,5 А. При замыкании проводов по цепи будет протекать очень большой ток – 12 000 А. Такой ток вызовет выделение громадного количества тепла, что безусловно приведет к обугливанию и сгоранию изоляции проводов, расплавлению материала проводов, порче электроизмерительных приборов, оплавлению контактов выключателей, ножей рубильников и так далее. Источник электрической энергии, питающий такую цепь, также может быть поврежден. Перегрев проводов может вызвать пожар.

Каждая электрическая сеть рассчитывается на свой, нормальный для нее ток.

Ввиду опасных, разрушительных, а иногда и непоправимых последствий короткого замыкания необходимо соблюдать определенные условия при монтаже и эксплуатации электрических установок, чтобы исключить причины короткого замыкания. Основные из них следующие:

- 1) изоляция проводов должна соответствовать своему назначению (напряжению сети и условиям ее работы);
- 2) сечение проводов должно быть таково, чтобы нагревание их при существующих условиях работы не достигало опасной величины;
- 3) проложенные провода должны быть надежно защищены от механических повреждений;
- 4) места соединений и ответвлений должны быть так же надежно изолированы, как и сами провода;
- 5) скрещивание проводов должно быть выполнено так, чтобы провода не касались друг друга;
- б) через стены, потолки и полы провода должны быть проложены так, чтобы они были защищены от сырости, механических и химических повреждений и хорошо изолированы.

10.4. Защита от токов короткого замыкания

Чтобы избежать внезапного, опасного увеличения тока в электрической цепи при ее коротком замыкании, цепь защищают плавкими предохранителями или автоматическими выключателями.

Плавкие предохранители представляют собой легкоплавкую проволочку, включенную последовательно в сеть. При увеличении тока сверх определенной величины проволочка предохранителя нагревается и плавится, в результате чего электрическая цепь автоматически разрывается и ток в ней прекращается.

Автоматический выключатель более сложный и дорогостоящий аппарат защиты нежели плавкий предохранитель. Однако в отличие от плавкого предохранителя он рассчитан на многократные срабатывания при защите цепей при аварийных режимах работы. Конструктивно автоматический выключатель выполнен в диэлектрическом корпусе со встроенным внутрь механизмом расцепления. Механизм расцепления имеет неподвижный и подвижный контакты. Подвижный контакт подпружинен, пружина обеспечивает усилие для быстрого расцепления контактов. Механизм расцепления приводится в действие одним из двух расцепителей: тепловым или магнитным.

Тепловой расцепитель представляет собой биметаллическую пластину, нагреваемую протекающим током. При протекании тока выше допустимого значения биметаллическая пластина изгибается и приводит в действие механизм расцепления. Время срабатывания зависит от тока (времятоковая характеристика) и может изменяться от секунд до часа. В отличие от плавкого предохранителя, автоматический выключатель готов к следующему использованию после остывания пластины.

Электромагнитный расцепитель – расцепитель мгновенного действия, представляет собой соленоид(катушку выполненную из медного проводника), подвижный сердечник которого также может приводить в действие механизм расцепления. Ток, проходящий через выключатель, течет по обмотке соленоида и вызывает втягивание сердечника при превышении заданного порога тока. Мгновенный расцепитель, в отличие от теплового, срабатывает очень быстро (доли секунды), но при значительно большем превышении тока: в $2 \div 14$ раз от номинального тока.

10.5. Максимальная защита с помощью плавких предохранителей

Плавкие предохранители широко используются в распределительных щитах общепромышленного выполнения, в ручных пускателях, в рудниковой аппаратуре, которая выпускается в ФРГ. Они простые за своим строением,

имеют относительно высокую коммутационную способность, компактные, ограничивают ток КЗ, имеют относительно большое быстродействие при токах КЗ близко $20 \cdot I_n$. Однако они имеют и много недостатков.

Одним из недостатков максимальной защиты с помощью плавких предохранителей есть возможность неполнофазных режимов работы электродвигателей при расплавлении плавкой вставки. Этот недостаток легко ликвидируется с помощью использования реле с двойной обмоткой, подключенного параллельно предохранителям и дающего команду на отключение напряжения при перегорании плавкой вставки.

Кроме этого однократность действия предохранителей требует необходимость изменения плавкой вставки после каждого срабатывания, а для этого нужно относительно много времени.

Принимая к вниманию выше указанные недостатки, Правилами Безопасности рекомендуют использовать плавкие вставки в максимальной защите потребителей с токами плавких вставок до 160 А в сетях 380...660 В, и для защиты слабоответственных и маломощных потребителей в сетях напряжением 127 В.

10.6. Защита от токов короткого замыкания с помощью максимальных реле

Преимуществом максимальных реле перед предохранителями есть:

- мгновенное и одновременное отключение токов в трех фазах;
- минимальное время, нужен для повторного включения электроустановки после ее отключения вследствие значительного перегрузки или КЗ;
- легкость регулирования уставки срабатывания;
- реле имеет значительно большее быстродействие, чем предохранители.

В схемах защиты подземных электроустановок распространения получили как первичные, так и вторичные реле и расцепители прямого и побочного действия. В рудниковой аппаратуре отечественного производства, как и в странах Европы, распространение получили реле клапанного типа, в которых уставка срабатывания регулируется натяжением пружины. Общим кон

структивным недостатком первичных реле есть нестабильность их характеристик срабатывания.

Исследования показывают, что настройка первичных максимальных реле от токов переходного процесса, при пусковых режимах электродвигателя, может быть реализованная, если вставка защиты выбрана по условию:

- при запуске недвижимого двигателя:

$$I_c = (1,20 \dots 1,25) \cdot I_{п.ф.},$$

где $I_{п.ф.}$ – фактический пусковой ток;

- при повторных включениях реверсивного электродвигателя:

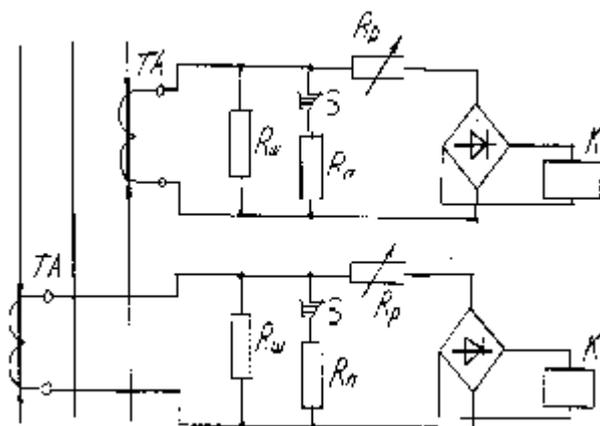
$$I_c = (1,6 \dots 1,7) \cdot I_{п.ф.}$$

Расчеты показывают, что зона действия первичных максимальных реле при відстроїці от токов переходного процесса в режиме повторных включений:

$$Z_{мн.} = (0,47 \dots 0,54) \cdot Z_{дв.г.},$$

то есть, зона действия первичных максимальных реле меньше предельного сопротивления кабельной линии по условиям эксплуатации электрооборудования. Поэтому в современных защитах первичные реле не используются.

В пускателях серии ПВИ и в станциях управления СУВ была использованная максимальная универсальная защита УМС (рис. 10.2). Схема защиты составляется с двух одинаковых цепей, каждый из которых включает трансформатор тока, шунтируя резисторы $R_{ш.}$, $R_{п.}$, регулирующий резистор R_p выпрямляющего моста UZ и исполняющего реле постоянного тока K . Ток вторичной обмотки трансформатора тока I_2 , что определяется первичным током нагрузки I_1 , создает на шунтирующую опоре $R_1 = R_{ш.} \cdot R_{п.} / (R_{ш.} + R_{п.})$ напряжение, что подается на выпрямляющий мост, нагрузкам которого есть реле K . При подачи на обмотку реле напряжения, ток в ней меняется по экспоненциальному закону. Параметры шунтирующих сопротивлений и катушки реле выбраны так, что магнитный поток в магнитопроводе при переходных процессах в сети, обусловленных пусковыми токами электродвигателя, не достигает потока сдвига, который дает возможность налаживания защиты за фактическим пусковым током.



Для проверки действия защиты

Рис.10.2. Принципиальная схема максимального за-УМС используется кнопка S . дара УМС.

При этом общее сопротивление, приеднанний параллельно трансформатору тока И, увеличивается и становится равным $R_{ш.}$ и, при запуска двигателя, защита УМС срабатывает, потому что напряжение на реле К повышается.

10.7. Защита от перегрузок

В процессе эксплуатации электроустановок возникают перегрузки электродвигателей и коммутационно-пусковой аппаратуры из-за разных причин: технологических; при повреждении машин и механизмов, которые вызывают повышение момента сопротивления; при отклонениях напряжения на зажимах потребителя от номинальной и прочие. Перегрузка оборудования связанные с резким повышением тока, который потребляется электродвигателями, и соответствующим повышением температуры токопроводящих частей и изоляции. Это ведет к уменьшению срока службы изоляции

Если двигатель работает в продолжительном режиме работы то задача защите упрощается. Когда двигатель начинает потреблять больший ток, защита должен отключить двигатель за время, при котор обмотки его нагреваются не выше $(1,1...1,2)Q_{гдоп.}$. В промышленности для защиты от перегрузка широкая распространение получили тепловые реле, выполненные на основе биметаллической пластины (рис. 10.3).

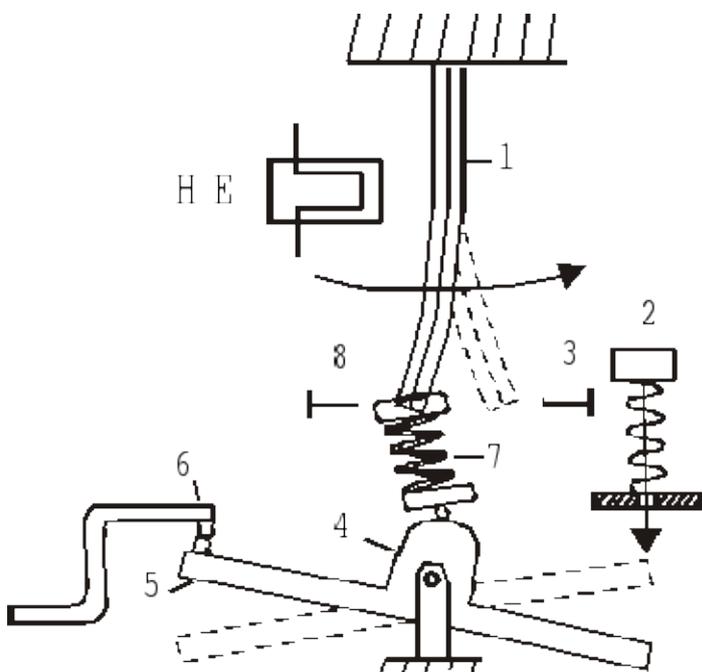


Рис. 10.3. Тепловое реле: 1 - биметаллическая пластина; 2 - кнопка возвращения; 3, 8 - упоры; 4 - пластиковая колодка; 5, 6 - подвижный и неподвижный контакты; 7 - пружина.

10.8. Минимальная и нулевая защита

При работе электроустановок напряжение в сети не является сурово постоянной, имеют место отклонения напряжения на зажимах потребителей от номинальной.

При работе асинхронного двигателя с фазным ротором, при отклонении напряжения к 60...70 % от номинальной, ток двигателя повышается, вызывая перегрев обмоток. Электродвигатель должен быть отключенным от сети.

Для электроустановок опасной есть также внезапное появление напряжения на неработающей машине, с точки зрения безопасности работы. Для предотвращения этого служит нулевая защита. Минимальная защита выключает электроустановки при снижении напряжения к 60...70 %, а нулевой - при ее исчезновении или снижении к 15...40 % от номинальной.

Таким образом минимальная и нулевая защиту имеют следующее назначение:

- защита двигателей от сверхтоков, которые имеют место при восстановлении напряжения после отключения короткого замыкания в сети;
- защита двигателей от сверхтоков, которые имеют место при них запуска после перерыва в питании;
- защита электродвигателей и машин и механизмов от повреждений, возможных при запуске машин без пусковых устройств.
- предотвращение неожиданного для обслуживающего персонала самовольного включения машин после продолжительного перерыва в питании.

Заключение

Для предотвращения аварий на производстве и обеспечении непрерывной работы электроустановок необходимо устанавливать защитные устройства. Обычно применяют несколько типов защиты либо комплексные устройства. Самой главной задачей является правильный подбор их типов и рабочих параметров.

Лекция 11

Опасность возникновения пожаров, взрывов от электрического в подземных выработках

11.1. Условия и причины возникновения пожаров от электрического тока [1]

Широкое внедрение электрической энергии в подземных выработках шахт сопровождается увеличением опасности воспламенения поврежденного электрооборудования и находящихся в непосредственной близости к нему горючих материалов. Помимо опасности распространения пожара в шахте, возникает опасность удушья из-за быстрого распространения продуктов горения по шахтным выработкам.

Особую опасность представляет пожар в шахтах, опасных по газу или пыли, так как он может вызвать взрыв.

Электрические дуги, искры, а также нагретые до высокой температуры токоведущие части — основные причины возникновения пожаров, связанных с применением электрической энергии.

В шахтах эксплуатируются десятки километров бронированных и гибких шланговых кабелей. Поэтому трудно создать эффективную защиту всех кабельных линий от механических повреждений изоляции токоведущих жил, особенно гибких кабелей на очистных и подготовительных работах,

Воспламенение кабеля с поврежденной оболочкой возникает при дуговом замыкании под действием большого количества тепла, выделяющегося при горении дуги. Однако даже при четкой работе максимальной защиты предупреждение пожара в этом случае не всегда может быть достигнуто. Защита от пожара обеспечивается только при использовании гибких кабелей с негорючим шлангом и бронированных кабелей с негорючей пропиткой оплетки.

Сложность отключения при минимальном воспламеняющем токе обусловлена тем, что уставки максимальной защиты неизбежно должны превышать нормальный рабочий ток электродвигателя. Ток, возникающий вследствие повреждения междуфазной изоляции в местах замыкания между жилами, может оказаться ниже тока уставки максимальной защиты. Поэтому защита от пожаров из-за токов повреждения в диапазоне от предельного безопасного до нормального тока нагрузки не может быть осуществлена максимальной защитой.

Еще бóльшая возможность возникновения пожаров от электрического тока создается в месте счалки двух кабелей. При этом даже относительно небольшие токи утечки могут вызвать воспламенение.

Большой потенциальной опасностью обладают электрические аппараты, содержащие трансформаторное масло. Даже незначительная примесь воды в масле, а также его загрязнение резко уменьшают диэлектрическую прочность масла, создавая условия для возникновения электрических дуг и междуфазных замыканий.

Пожар в электроосветительных установках может возникнуть из-за мелкой пыли, которая образует покров, препятствующий рассеянию внутреннего тепла ламп накаливания. Вследствие этого поверхность колбы лампы нагревается до температуры воспламенения пыли.

Большую опасность в пожарном отношении представляет появление статических зарядов на воздухопроводах в результате электризации от трения частиц песка, содержащихся в сжатом воздухе, о стенки стального трубопровода или прорезиненного шланга, а также при трении ремня о шкив, ленты о барабаны конвейера и т.п. Потенциалы статических зарядов могут достигать десятков тысяч вольт и вызывать весьма опасные по своим разрушительным последствиям пожары и взрывы газа.

Наконец, существует опасность возникновения пожара от воспламенения угольной пыли, скапливающейся на корпусах взрывобезопасного электрооборудования. Угольная пыль нагревается в результате теплопроводности и окисляется при определенной температуре в зависимости от сорта угля. Поскольку это окисление — экзотермическое, пыль, соприкасающаяся с металлической оболочкой, нагревается до температуры воспламенения (200 — 400 °С). Если слой пыли превышает 6 мм, она воспламеняется при более низкой температуре.

11.2. Мероприятия по предупреждению пожаров от электрического тока [1, 8, 13, 15]

Предотвратить замыкания и недопустимые перегревы в электроустановках можно только путем правильного монтажа и эксплуатации электрооборудования, а также применением на всех электроустановках устройств непрерывного контроля изоляции и защитного отключения. Особое внимание следует уделять правильному выполнению контактных соединений. Они должны выполняться по возможности горячей пайкой. Соединение и ремонт шахтных гибких кабелей должны производиться методом вулканизации при помощи специальных аппаратов — *вулканизаторов*.

Использование негорючих материалов должно сочетаться с применением защиты, предупреждающей возникновение токов, способных воспламенить электрооборудование и горючие материалы. Одна из эффективных мер по предупреждению пожаров от электрического тока — применение шахтных гибких кабелей с негорючей резиновой оболочкой.

Защита от междуфазных утечек обеспечивается заземленными экранами токопроводящих жил. В шахтных гибких кабелях с индивидуальными экранами жил междуфазная утечка сводится к утечке на землю, что вызывает срабатывание соответствующей защиты. Таким образом, защита от утечек на землю приобретает большое значение как средство предупреждения пожаров от электрического тока.

При использовании бронированных кабелей с бумажной изоляцией существует опасность воспламенения наружного джутового покрова. Поэтому согласно требованию ПБ [5] он должен быть удален с участков кабелей, проложенных в камерах, а броня кабеля покрыта лаком, предохраняющим ее от коррозии.

Основное мероприятие по предупреждению пожаров от воспламенения трансформаторного масла — это правильная эксплуатация масляного хозяйства шахты. Следует заменять аппараты с горючим минеральным маслом, в частности реостаты, аппаратами с сухим заполнителем (например, кварцевым песком) и применять выключатели без масла. Использование в шахтах передвижных трансформаторных подстанций, в которых отсутствуют маслonaполненные аппараты, также способствует повышению пожаробезопасности.

Для противопожарной защиты от статического электричества необходимо устраивать сеть заземленных проводников для отвода возникающих статических зарядов в землю.

11.3. Особенности и способы тушения воспламенившегося электрооборудования

Первоочередное мероприятие при тушении воспламенившегося электрооборудования — это быстрое отключение его в секторе, подверженном пожару.

Осуществление этого мероприятия позволяет не только ликвидировать источник пожара, но и предупредить отключение всей шахты при более значительном коротком замыкании, усложняющем борьбу с пожаром.

Наиболее распространенное средство для тушения пожара в шахтах — сухой песок. Установленные ПБ [5] запасы его должны храниться в местах возможного возникновения пожара от электрических причин.

Огнетушители с углекислым газом эффективны только для ограниченных пространств. В вентиляционных выработках, где газ быстро расходуется, они нецелесообразны. При использовании огнетушителей с углекислотой следует избегать касаний со струей карбонатного снега из-за возможности ожогов при низкой температуре.

Огнетушители с сухим порошком из-за прочной конструкции устанавливаются на очистных машинах, а также в верхней и нижней частях забоя.

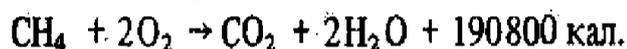
Пенные огнетушители, заполненные огнегасящими токопроводящими жидкостями, можно применять только при отключенном электрооборудовании.

Для тушения пожаров в крупных электроустановках целесообразнее стационарные устройства углекислотного пожаротушения.

11.4. Опасность воспламенения метановоздушной и пылевоздушной среды

11.4.1. Условия воспламенения взрывоопасной атмосферы [15]

Рудничный, газ выделяющийся из угольных пластов, является горючим газом, бесцветен, легче воздуха и состоит в основном из метана (CH₄), азота, водорода, инертных газов и углекислого газа (CO₂). Экзотермическая реакция горения рудничного может быть выражена формулой



Характер горения метана зависит от его концентрации в воздухе. Для некоторых концентраций, заключённых между нижним и верхним пределом воспламенения, горение имеет характер взрыва, т.е. оно передаётся всей метановоздушной смеси в очень короткое время. Эти пределы изменяются в зависимости от начальной температуры смеси, положения точки воспламенения и т.д.

Взрывчатая метано-воздушная смесь в шахте воспламеняется при совпадении во времени двух условий: 1) наличия в определенной точке выработки опасной концентрации метана в воздухе; 2) возникновения в этой точке открытой электрической искры, дуги или нагрева (накала) открытой токоведущей части до температуры, достаточной для воспламенения взрывчатой смеси.

При концентрации метана ниже некоторого предела (нижний предел взрывоопасной концентрации) под действием одного или нескольких факторов, указанных выше во втором условии, смесь может воспламениться (горение метано-воздушной смеси), но взрыва (мгновенного сгорания) не последует. При избытке в смеси метана (при концентрации выше верхнего предела) взрыва сначала не происходит. Однако такая перенасыщенная метаном смесь при притоке воздуха из окружающего пространства может воспламениться. При нормальном атмосферном давлении и температуре 20 °С нижний предел концентрации метана равен 5 %, верхний — 15 %. В промежутке между предельными взрывными концентрациями существуют такие концентрации, при которых взрывное давление достигает максимального значения или смесь наиболее легко взрывается.

Следует подчеркнуть, что взрыв метано-воздушной смеси не является процессом с мгновенной реакцией, т.е. воспламенением всего объема взрывоопасной смеси одновременно. По существу взрыв — это то же горение газа, но при высокой скорости распространения фронта горения. Эта скорость зависит от концентрации, теплопроводности и тепловых потерь. Она определена экспериментально и находится в пределах от 2 мм/с до 0,18 м/с. Это означает, что можно попытаться остановить горение метана в смеси понижением температуры горячего газа, который передает ее постепенно.

Взрыв метано-воздушной смеси в ограниченных пространствах, например в подземных выработках, приводит к тяжелым, зачастую катастрофическим последствиям. Результатами взрыва могут быть человеческие жертвы, серьезные разрушения горных выработок, поломки оборудования и, следовательно, выход из строя отдельного участка шахты на длительное время.

Взрыв рудничной атмосферы может произойти также при наличии в ней угольной пыли, находящейся во взвешенном состоянии. Установлено, что нижний предел взрывной концентрации угольной пыли составляет 15 г/м^3 .

Для устранения опасности взрыва применяют меры организационного и технического характера.

11.4.2. Основные мероприятия по предупреждению взрывов [1, 15]

Мероприятия, обеспечивающие безопасное применение электрооборудования в шахтах, опасных по газу или пыли, могут быть разделены на две группы.

В первую группу входят мероприятия, снижающие и предупреждающие возможность работы электрооборудования во взрывоопасной атмосфере. К этим мероприятиям относятся:

- 1) интенсивное и надежное проветривание горных выработок с целью снижения концентрации метана в рудничной атмосфере до безопасного значения;
- 2) отключение электроустановок на участке, где возникает недопустимая концентрация метана в воздухе. В соответствии с этим действующие правила безопасности предписывают при концентрации метана 0,5–2% (в зависимости от рода выработки) профилактически отключать электроустановки, прекращать работы и выводить рабочих из опасной зоны;
- 3) использование приборов и устройств для автоматического контроля состояния вентиляции и концентрации метана, а также для автоматической сигнализации или автоматического отключения электроустановок при нару-

Во вторую группу входят мероприятия, предупреждающие возникновение опасного открытого искрения, дугообразования и нагрева электрооборудования и его частей. С этой целью для применения в шахтах, опасных по газу или пыли, изготавливается электрооборудование в особом рудничном исполнении.

К этой группе мероприятий относится и создание искробезопасной аппаратуры. Искробезопасность достигается применением искробезопасных цепей, которые не создают искрения, способного поджечь горючую смесь газов. Таким образом, основная идея этого решения – устройство электрических цепей, в которых могут возникать искры, высвобождающие слишком малую энергию, недостаточную для воспламенения метано-воздушной среды.

Малое количество энергии, выделяемой при искрении, – не единственный фактор, обуславливающий невозможность воспламенения. Известны случаи воспламенения, полученные от искры мощностью 0,002 Вт, тогда как искры явно большей мощности могут быть признаны безопасными. Искра зависит от электрических параметров цепи, а также от скорости разведения контактов, их формы и металла.

Электрические дуги, обладающие значительной мощностью и развивающие на электродах температуру, намного превышающую температуру воспламенения метана, не могут быть искробезопасными. Понятие искробезопасности относится, главным образом, к искрам разрядов пробоя, кистевых разрядов, т.е. в основном ко всем устройствам малой мощности для электрификации подземных разработок, таким как телефонные и сигнализационные установки, контрольная аппаратура, контрольные цепи, цепи дистанционного управления и электрической блокировки.

Лекция 12

Основы искробезопасности электрических сетей

12.1. Общие положения

При рассмотрении вопросов предупреждения взрывов от электрического тока мы отмечаем две группы мероприятий, обеспечивающих безопасность применения электрооборудования в шахтах [1, 2, 3].

Во вторую группу входят мероприятия, предупреждающие возникновение опасного открытого искрения, дугообразования и нагрева электрооборудования и его частей. С этой целью для применения в шахтах, опасных по газу или пыли, изготавливается электрооборудование в особом рудничном исполнении.

К этой группе мероприятий относится и создание искробезопасной аппаратуры. Искробезопасность достигается применением искробезопасных цепей, которые не создают искрения, способного поджечь горючую смесь газов. Таким образом, основная идея этого решения — устройство электрических цепей, в которых могут возникать искры, высвобождающие слишком малую энергию, недостаточную для воспламенения метано-воздушной среды.

Электрические дуги, обладающие значительной мощностью и развивающие на электродах температуру, намного превышающую температуру воспламенения метана, не могут быть искробезопасными. Понятие искробезопасности относится, главным образом, к искрам разрядов пробоя, кистевых разрядов, т. е. в основном ко всем устройствам малой мощности для электрификации подземных разработок, таким как телефонные и сигнализационные установки, контрольная аппаратура, контрольные цепи, цепи дистанционного управления и электрической блокировки.

Малое количество энергии, выделяемой при искрении, — не единственный фактор, обуславливающий невозможность воспламенения. Известны случаи воспламенения, полученные от искры мощностью 0,002 Вт, тогда как искры явно большей мощности могут быть признаны безопасными. Искра зависит от электрических параметров цепи, а также от скорости разведения контактов, их формы и металла.

В цепи с постоянной э.д.с. E , резистором r и индуктивной катушкой L (рис. 12.1.) напряжение u между размыкаемыми электродами определяется нелинейным дифференциальным уравнением

$$u = E - ri - L \frac{di}{dt} \quad (12.1)$$

и энергия, развиваемая в искре за время t_p полного разряда

$$A = \int_0^{t_p} u dt.$$

В соответствии с формулой (13.1) она определяется как

$$A = E \int_0^{t_p} i dt - r \int_0^{t_p} i^2 dt - L \int_0^{t_p} i \frac{di}{dt} dt, \quad (12.2)$$

Первое слагаемое представляет собой энергию источника э.д.с. E , вто-

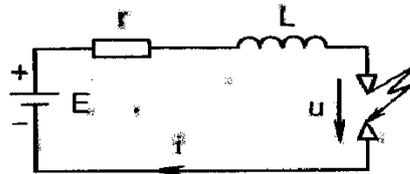


РИС.12.1. Активно- индуктивная цепь с размыкаемыми электродами

рое — энергию, выделяемую в резисторе r , третье — энергию, накопленную в магнитном поле до размыкания контактов.

В процессе размыкания контактов общее сопротивление цепи увеличивается. Следовательно, ток i должен уменьшаться от первоначального значения до нуля. В связи с этим энергия, запасенная в магнитном поле, также будет уменьшаться от

$$W_L = -L \int_0^{t_p} i \frac{di}{dt} dt = -L \int_{i(0)}^0 i di = \frac{Li^2(0)}{2} \quad (12.3)$$

до нуля. В уравнении (12.3) i_0 — ток в цепи при $t = 0$, т.е. в момент начала размыкания контактов.

После подстановки выражения (13.3) в (12.2) и простого преобразования получим

$$A + r \int_0^{t_p} i^2 dt = E \int_0^{t_p} i dt + \frac{Li^2(0)}{2}$$

Следовательно, энергия, запасенная в магнитном поле катушки, вместе с энергией источника э.д.с. E будет выделяться в искре и резисторе r . Совершенно очевидно, что для цепей с большой индуктивностью труднее обеспечить искробезопасность.

Необходимо отметить, что искрение при постоянном токе более стабильно и происходит с большим выделением тепла, чем при переменном токе. При постоянном токе высвобождаемая энергия зависит от неизменяющегося значения тока, тогда как при переменном токе размыкание контактов (разрыв цепи) может произойти с определенной вероятностью в тот момент, когда ток равен нулю или имеет малое значение. Поэтому переменный ток, по-видимому, менее опасен в отношении искрения.

При практической реализации искробезопасных цепей исходят из того, чтобы накопленная в индуктивной катушке L (рис. 12.2) энергия выделялась не в искре, проскальзывающей между электродами A , а в другом месте. Для этого применяют различные шунтирующие искрозащитные элементы.

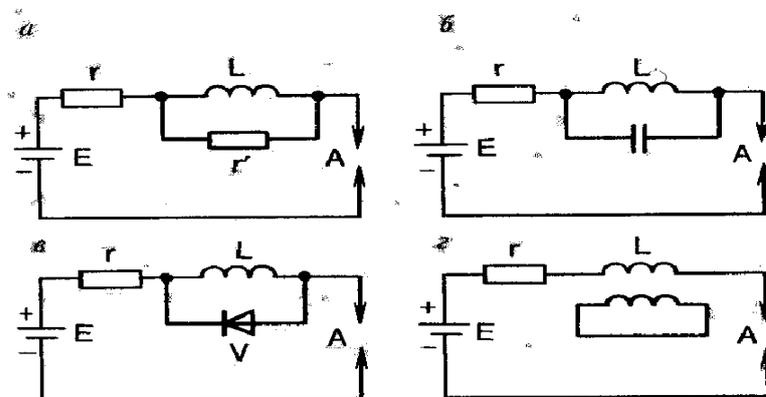


Рис. 12.2. Искробезопасные сети с различными шунтирующими элементами: а – резистором; б – конденсатором; в – выпрямителем; г – дополнительной короткозамкнутой катушкой

Если в цепь ввести резистор Γ (рис. 12.2, а), то индуктивная катушка L , будет рассеивать энергию частично в резисторе Γ и частично между электродами A . Опыты показывают, что в некоторых цепях можно принять такое значение Γ , при котором искрообразование между электродами A не вызывает взрыва. Таким образом, первая возможность обеспечения ис-

кробезопасности – шунтирование индуктивной катушки резистором (рис. 12.2, а).

Так как в резисторе происходит потеря тепла, его целесообразней заменить конденсатором (рис. 12.2, б). В случае разрыва цепи в точке А индуктивная катушка действует как генератор, заряжающий конденсатор, который затем разряжается на катушку. Здесь возникает процесс колебаний энергии, который заканчивается в результате рассеивания энергии в активном сопротивлении контура. Эта энергия не участвует в искре размыкания.

Вместо резистора можно применять выпрямитель, оказывающий очень большое сопротивление прохождению тока в обратном направлении и весьма малое – в прямом (рис. 12.2, в).

Можно также использовать дополнительную катушку, замкнутую накоротко, и получить схему трансформатора (рис. 12.2, г). Во время размыкания вторичная обмотка поглощает часть энергии, запасённой в индуктивной катушке.

Рассмотренные схемы применяются на практике, главным образом, для устройств, питаемых постоянным током. Однако в силовых шахтных электрических сетях, характеризующихся большой мощностью электроприемников, всякий разрыв силовой цепи порождает искру, достаточную для воспламенения взрывоопасной газо-воздушной смеси. С учетом этого шахтное электрооборудование имеет взрывозащищенное исполнение, исключающее возможность воспламенения взрывоопасной атмосферы.

12. 2. Искробезопасная электрическая цепь [1]

Этот вид защиты обеспечивается :

- ограничением напряжения тока;
- шунтированием реактивных элементов, способных запасать энергию;
- гальванической развязкой между искробезопасными и искроопасными цепями, а также между разными группами искробезопасных цепей.

Эти мероприятия осуществляются с помощью специальных искрозащитных элементов (ограничительных, шунтирующих и разделительных).

В качестве ограничителей тока и напряжения и шунтов к реактивным элементам применяют: линейные и нелинейные резисторы, конденсаторы (кроме электролитический и негерметизированных), полупроводниковые приборы и комбинации из этих приборов. Допустимая нагрузка на эти приборы снижается на 1/3 по отношению к номинальной нагрузке. Искрозащитные элементы и защищаемый ими элемент должны вместе составлять неразборную конструкцию. Для этого их заливают твердеющим компаундом.

В качестве разделительных элементов используются в основном реле и контакторы, трансформаторы, оптоэлектронные устройства.

Стандарт устанавливает и другие требования к схемам и конструкциям искрозащитных элементов.

Внешние искробезопасные цепи, не объединяют в одном кабеле с искроопасными цепями. Допускается совмещать эти в одном гибком экранированном кабеле проходческих и очистных комбайнов при обязательном контроле состояния изоляции.

Искробезопасность сети характеризуется:

- минимальным воспламеняющим током (напряжением, мощностью, энергией), который вызывает воспламенение взрывоопасной МВС среды с вероятностью 10^{-3} , т.е. при одном воспламенении на одну тысячу искрений.

искробезопасным током (напряжением, мощностью, энергией), представляющим собой наибольший ток (напряжение, мощность, энергию) который в цепи, образующей разряды, не вызывает воспламенения метано воздушной среды при установленных условиях испытаний.

Отношение минимальных воспламеняющих параметров (тока, напряжения, мощности, энергии) к соответствующим искробезопасным параметрам называется *коэффициентом искробезопасности*. Значение его должно быть не ниже 1,5 в нормальном режиме электрооборудования и в аварийных состояниях его при искусственно создаваемых повреждениях элементов и соединений.

Искробезопасные электрические цепи разделяются на три уровня (Иа, Иб, Ис) в зависимости от уровня взрывозащиты, который эти искробезопасные цепи обеспечивают: Иа – особовзрывобезопасный; Иб – взрывобезопасный; Ис – повышенная надежность против взрыва. Чем более высокий уровень имеет искробезопасная цепь, тем большее число повреждений элементов и соединений искусственно создают при испытании цепи на искробезопасность.

Понятие о коммутации. Классификация, основные параметры и узлы коммутационных аппаратов

13.1. Понятие о коммутации

В токовом словаре приводится следующее понятие о коммутации. Коммутация это [1, 2, 3]:

1) Изменение соединений в электрических цепях (включение, отключение, переключение их отдельных частей), выполняемое при помощи специальной аппаратуры (в электротехнике).

2) Процесс изменения тока по величине и направлению в секциях обмотки якоря динамо-машины.

3) Система электрических соединений проводов, кабелей, аппаратов, осуществляемая на телефонных, телеграфных станциях и радиостанциях (в технике связи).

13.2. Коммутация электрических цепей

Среди всех понятий электротехники одно из ведущих мест занимает коммутация электрических цепей. Это понятие используется во многих областях и стоит более подробно рассмотреть, что же это такое?

Понятие коммутации. Коммутацией электрических цепей называются разнообразные переключения, производимые во всевозможных электрических соединениях, а также в кабелях, проводах, трансформаторах, машинах, различных приборах и аппаратах, которые, так или иначе генерируют, распределяют и потребляют электроэнергию. Как правило, коммутацию сопровождают переходные процессы, возникающие в результате того, что токи и напряжение очень быстро перераспределяются в ветвях электрических цепей [1].

Режимы электрических цепей. Переход цепи из одного режима в другой, является переходным динамическим процессом. В то время, как при стационарном установившемся режиме, токи и напряжения в цепях постоянного тока остаются неизменными по времени, при переменном токе временные функции периодически изменяются. Установленные режимы при любых параметрах полностью зависят исключительно от источника энергии. Поэтому, каждый источник энергии, постоянный или переменный, создают соответствующий ток. Причем, частота переменного тока полностью совпадает с частотой источника электрической энергии.

Возникновение переходных процессов происходит, когда каким-либо образом изменяются режимы в электрических цепях. Это может быть отключение или подключение цепей, изменения нагрузок, возникновение различных аварийных ситуаций.

Все эти переключения и называются коммутацией. С физической точки зрения все процессы перехода энергетических состояний соответствуют режиму до коммутации и после коммутации. Продолжительность переходных процессов.

Длительность процессов очень короткая – вплоть до миллиардных долей секунды. В очень редких случаях, эти процессы, при необходимости, могут составлять до нескольких десятков секунд. Переходные процессы постоянно изучаются, поскольку именно с их помощью производится коммутация электрических цепей. Работа очень многих устройств, особенно в промышленной электронике, базируется на переходных процессах.

Например, продукция электрической нагревательной печи полностью зависит от того, как протекает переходный процесс. Чрезмерно быстрый или очень медленный нагрев могут нарушить технологию и привести к выпуску бракованной продукции. В общих случаях, процессы электроцепей возникают при наличии в них индуктивных и емкостных элементов, способных осуществлять накопление или отдачу энергии магнитных или электрических полей. В момент начала процесса, между всеми элементами цепи и внешними источниками энергии, начинается процесс перераспределения электроэнергии. Частично, энергия безвозвратно преобразуется в другие виды энергии.

13.3. Общие сведения и классификация коммутационных аппаратов [1]

Включение и отключение любых потребителей электрической энергии (электродвигателей, нагревательных и осветительных приборов и др.), а также устройств управления, сигнализации и связи осуществляются замыканием и размыканием соответствующих электрических цепей. Процесс замыкания и размыкания электрической цепи, при котором скачкообразно изменяется ее сопротивление, называется коммутацией, а аппараты, предназначенные для этой цели, – коммутационными электрическими аппаратами.

В коммутационных аппаратах различают: главную цепь, содержащую токоведущие части, включенные в электрическую цепь, которую этот аппарат должен коммутировать в соответствии со своим основным назначением; вспомогательные цепи, к которым относится цепь управления аппарата. Главная и вспомогательные цепи могут выполняться на разное напряжение, но при этом напряжение вспомогательных цепей не превышает напряжения главной цепи.

Присоединение внешних проводов электрических цепей к коммутационным аппаратам осуществляется с помощью специальных устройств (частей аппаратов), называемых *выводами аппаратов*.

Коммутационные электрические аппараты классифицируют по различным признакам.

По способу коммутации различают:

контактные коммутационные аппараты, в которых замыкание и размыкание электрической цепи осуществляются перемещением специальных токоведущих частей аппарата — *контакт-деталей* (контактов*) — относительно друг друга. Замкнутой электрической цепи соответствует включенное положение контактов, т.е. замкнутое с определенным контактным нажатием положение их, при котором обеспечивается непрерывность цепи. *Контактным нажатием* называется сила, действующая между двумя замкнутыми контактами. Разомкнутой цепи соответствует отключенное положение контактов, т.е. разомкнутое их положение, при котором между ними имеется необходимый изоляционный (обычно воздушный) промежуток. Контактные коммутационные аппараты получили в угольной промышленности преимущественное распространение;

бесконтактные коммутационные аппараты, осуществляющие замыкание и размыкание электрических цепей без перемещения деталей аппарата. Для этой цели применяют, в основном, управляемые диоды — тиристоры. Бесконтактные аппараты характеризуются открытым состоянием, при котором проводимость его велика и практически не влияет на значение тока, проходящего через аппарат, и закрытым, при котором проводимость его настолько мала, что ток практически не может проходить.

В зависимости от выполняемых функций коммутационные аппараты делятся на две группы:

аппараты управления, предназначенные для включения и отключения различных электрических цепей, для пуска, регулирования частоты вращения, реверсирования и торможения электродвигателей;

аппараты защиты, служащие для предотвращения выхода из строя электрических установок и защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током в случае каких-либо нарушений нормального режима работы (к.з., пробоя изоляции, чрезмерной перегрузки, недопустимых колебаний напряжения и др.).

По числу коммутируемых независимых электрических цепей различают *однополюсные* и *многополюсные* (двух-, трехполюсные и т.д.) коммутационные аппараты.

*Термин "контакт" применяется также как сокращенная форма термина "электрический контакт", т.е. место перехода тока из одной токоведущей детали в другую.

В зависимости от числа фиксированных положений контактных аппаратов (коммутационных положений) они делятся на *двухпозиционные* и *многопозиционные* (трех-, четырехпозиционные и т.д.).

По виду привода (устройства для создания или передачи силы на подвижную часть аппарата) различают контактные аппараты с *ручным приводом*, в которых для включения и отключения используется мускульная

сила оператора, и с *двигательным приводом*. В качестве двигателя в последних обычно применяют электромагниты и значительно реже — электродвигатели.

По характеру действия коммутационные аппараты делятся на аппараты с *самовозвратом* и *без самовозврата*.

Аппараты с самовозвратом автоматически возвращаются в начальное положение (фиксированное положение его частей при отсутствии воздействия привода на подвижные части) после снятия внешнего воздействия. Конечное положение этих аппаратов характеризуется положением их частей при подводе энергии к приводу. Переход из начального положения в конечное называется *включением контактного аппарата*, обратный переход — *отключением*. Контакты, которые при начальном положении аппарата находятся в разомкнутом и замкнутом состояниях, называются соответственно замыкающими и размыкающими.

В аппаратах без самовозврата для изменения фиксированного положения необходимо внешнее воздействие. Поэтому начальное и конечное положения для них являются условными понятиями.

Действие контактных и бесконтактных коммутационных аппаратов в соответствии с их назначением после получения команды называется *срабатыванием*. В некоторых случаях необходимо, чтобы оно произошло не сразу после подачи соответствующей команды, а с некоторым запозданием. Это осуществляется с помощью специального устройства, увеличивающего время срабатывания (возврата) и называемого *замедлителем контактного аппарата*.

По назначению коммутационные аппараты делятся на следующие виды: выключатели, переключатели, автоматические, путевые и кнопочные выключатели, разъединители, короткозамыкатели, предохранители, контакторы, реле, пускатели, контроллеры и др.

По напряжению главной цепи различают коммутационные аппараты: *низковольтные* (до 1140 В переменного тока и 1200 В постоянного тока) и *высоковольтные*, работающие на более высоких, чем указанное, напряжениях. Если учесть, что ближайшее большее стандартное напряжение переменного тока — 6 кВ, то к высоковольтным будут относиться коммутационные аппараты переменного тока на напряжение 6 кВ* и выше.

13.4. Основные параметры и характеристики коммутационных аппаратов [1]

Срабатывание коммутационных аппаратов может происходить в результате изменения различных величин: тока (например в устройствах защиты); напряжения; температуры (в температурных реле); давления (в реле давления); поступательного или поворотного перемещения специальной детали коммутационного аппарата, связанной с его контактной системой (в коммутационных аппаратах с ручным приводом и в путевых выключателях). Физическая величина, на которую реагирует коммутационный аппарат, называется *воздействующей величиной*, а ее значение, при котором он срабатывает, называется *значением величины срабатывания* (например, значение тока срабатывания или короче — ток срабатывания).

Контактные аппараты с самовозвратом характеризуются также *значением величины возврата* (например, напряжением возврата), представляющим значение воздействующей величины, при котором аппарат возвращается в исходное состояние.

Отношение значений величин возврата и срабатывания называется *коэффициентом возврата*. Он всегда меньше единицы.

К большинству контактных коммутационных аппаратов предъявляется требование быстрого действия, которое характеризуется следующими параметрами: собственным временем включения, представляющим собой интервал времени от момента подачи команды на включение до момента соприкосновения замыкающих контактов; собственным временем отключения — интервалом времени от момента подачи команды на отключение до момента размыкания замыкающих контактов. После размыкания контактов ток в цепи из-за возникновения дуги между расходящимися контактами продолжает проходить, пока существует дуга. Чтобы учесть это явление, введен параметр *полное время отключения цепи* — интервал времени от момента подачи команды на отключение аппарата до момента прекращения тока во всех полюсах аппарата.

*На некоторых горных предприятиях могло сохраниться применяемое ранее напряжение 3 кВ. Коммутационные аппараты на это напряжение также относятся к высоковольтным.

Контактные коммутационные аппараты, снабженные замедлителем, имеют характерный параметр — *выдержку времени*, которая представляет собой время запаздывания при срабатывании (возврате) аппарата в результате действия замедлителя. Различают выдержку времени при срабатывании и при возврате.

Одна из важнейших характеристик контактных коммутационных аппаратов — *коммутационная способность*, оцениваемая допустимым значением тока, который может коммутировать аппарат в определенных условиях без ущерба для его дальнейшей эксплуатации. К этим условиям относятся вид коммутации (включение или отключение) и характер нагрузки (активный или индуктивный).

Коммутационная способность при включении цепи называется *включающей способностью*, при отключении цепи — *отключающей способностью коммутационного контактного аппарата*.

К другим важным характеристикам контактных коммутационных аппаратов, отражающим их эксплуатационные качества, относятся:

механическая износостойкость, характеризуемая числом операций включения-отключения (ВО) контактного аппарата при отсутствии тока в цепи контактов, которое аппарат может выдержать, оставаясь в работоспособном состоянии;

коммутационная износостойкость — число циклов ВО, которое может выдержать, оставаясь в работоспособном состоянии, аппарат, но при коммутировании им электрических цепей с определенными параметрами нагрузки.

13.5. Контактные узлы коммутационных аппаратов

Устройство. *Контактный узел* — это конструктивный узел аппарата, осуществляющий коммутацию электрической цепи. Он состоит из неподвижной и подвижной частей. На неподвижной части закреплен жестко или упруго неподвижный контакт (контакт-деталь). С подвижной частью также жестко или упруго связан подвижный контакт, перемещающийся вместе с ней. Наиболее распространены рычажный, мостиковый, пружинный и врубной контактные узлы.

Рычажный контактный узел (рис.13.1, а, б) представляет собой рычаг 5 один конец которого закреплен на валу 6, а на другом установлен подвижный контакт 2. Он связан с рычагом упруго с помощью пружины 4, прижимающей подвижный контакт к упору 3. Неподвижный контакт 1 жестко закреплен на изоляционной панели.

Мостиковый контактный узел (рис. 13.1, в, г) содержит подвижную и подвижной 2 пластинчатых пружин, на одном конце которых закреплены контакты 6 и 7. Другим концом пружины зажаты в изоляционной колодке 1. Неподвижная пружина силами упругости прижата к упору 3, который

не позволяет замкнуться контактам в начальном положении коммутационного аппарата. При подводе энергии к приводу аппарата возникает сила F (рис. 13.1, е), приложенная через изоляционный толкатель 5 к подвижной пружине. Под действием этой силы происходит замыкание контактов 6 и 7.

Врубной контактный узел имеет один из контактов в виде двух параллельных друг другу подпружиненных пластин – губок, а другой контакт – из одной пластины в форме ножа. При замыкании подвижный контактный нож входит в неподвижные губки. Врубной контактный узел применяется, главным образом, в коммутационных аппаратах с ручным приводом (в рубильниках, разъединителях и др.). В некоторых коммутационных аппаратах,

Например в блокировочных реверсирующих разъединителях (рис. 13, б), контактный нож неподвижен, а перемещаются губки. Часть поверхности контакт-детали (контакта), создающего электрический контакт, называется рабочей поверхностью контакта. Наиболее распространены контакты с цилиндрической (рис. 13.1, а), плоской (контакт 7, рис. 13.1, д) и сферической (рис. 13.1, в) рабочими поверхностями. В зависимости от формы рабочей поверхности контакты могут соприкасаться: в точке (рис. 13.1, з, е); по линии (рис. 13.1, б); по – поверхности при соприкосновении двух плоских контактов [1].

Основные параметры. Эксплуатационные свойства контактных узлов определяются их параметрами. К основным из них относятся:

начальное контактное нажатие – нажатие в момент касания контактов, зависящее от предварительного сжатия пружин 4 в контактных узлах на рис. 13.1, а, в и предварительного изгиба пружины 4 в узле на рис. 13.1, д;

конечное контактное нажатие – нажатие в конце хода подвижной части, зависящее от перемещения ее после касания контактов, жесткости пружины и начального нажатия;

раствор контактов – кратчайшее расстояние между подвижным и неподвижным контактами при их разомкнутом положении (размер B на рис. 13.1, а, в, д).

провал контакта – расстояние, на которое может сместиться подвижный контакт из замкнутого положения, если удалить неподвижный контакт. Так как непосредственное измерение провала рычажных и мостиковых контактных узлов невозможно, то его измеряют косвенно по зазору А (рис. 13.1, б, г), который образуется между подвижным контактом (контактным мостиком) 2 и упором 3. В пружинном контактном узле провал можно измерить непосредственно по смещению по смещению неподвижного контакта 7 (рис.13.1,д).

Эти параметры для нормальной работы контактного узла должны иметь определенные значения, которые указываются для каждого коммутационного аппарата в "Инструкциях по эксплуатации", а также в справочной литературе.

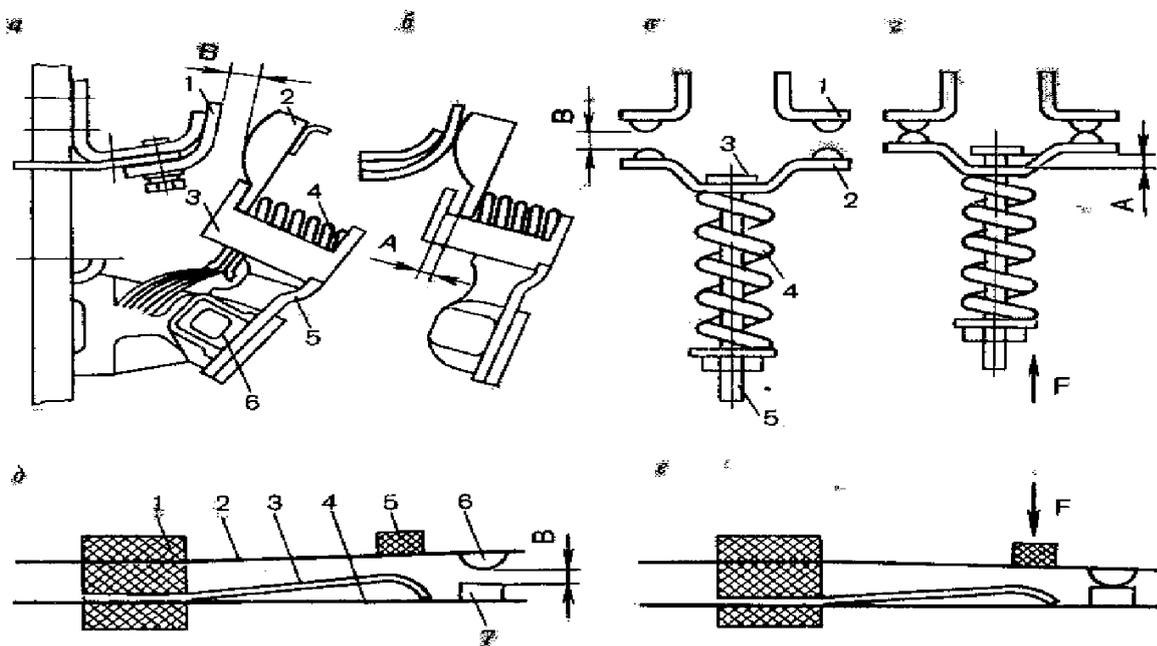


Рис. 13.1. Контактные узлы коммутационных аппаратов: а, б – пружинный; в, г – мостиковый; д, е – пружинный

Контакты вносят в электрическую цепь дополнительное сопротивление, называемое *переходным сопротивлением контакта*. В месте соприкоснове-

ния контакты нагреваются, и на их поверхности образуется пленка окиси металла, из которого изготовлен контакт. Так как окись металла (за исключением серебра) имеет большее сопротивление, чем сам металл, то переходное сопротивление увеличивается, что приводит к еще большему нагреву. Чтобы уменьшить переходное сопротивление, контакты в ответственных аппаратах покрывают серебром. Переходное сопротивление зависит также от усилия прижатия контактов. С увеличением этого усилия переходное сопротивление уменьшается, но одновременно возрастают габариты привода и механический износ контактов.

Дугогашение. Коммутационная износостойкость ограничена, в основном, действием электрической дуги, возникающей между контактами при их размыкании, особенно в цепях с индуктивностью. Под действием высокой температуры дуги возможны расплавление поверхности контактов и их быстрый выход из строя. Чтобы повысить способность контактов разрывать дугу, применяют специальные меры:

1. Контактный узел каждого полюса аппарата выполняют из двух параллельно включённых контактов: основного 5 (рис. 13.2, а) -

для проведения основной части рабочего тока, и *дугогасительного 4*, который размыкается раньше основного и поэтому разрывает электрическую дугу, предохраняя этим основной контакт от повреждения.

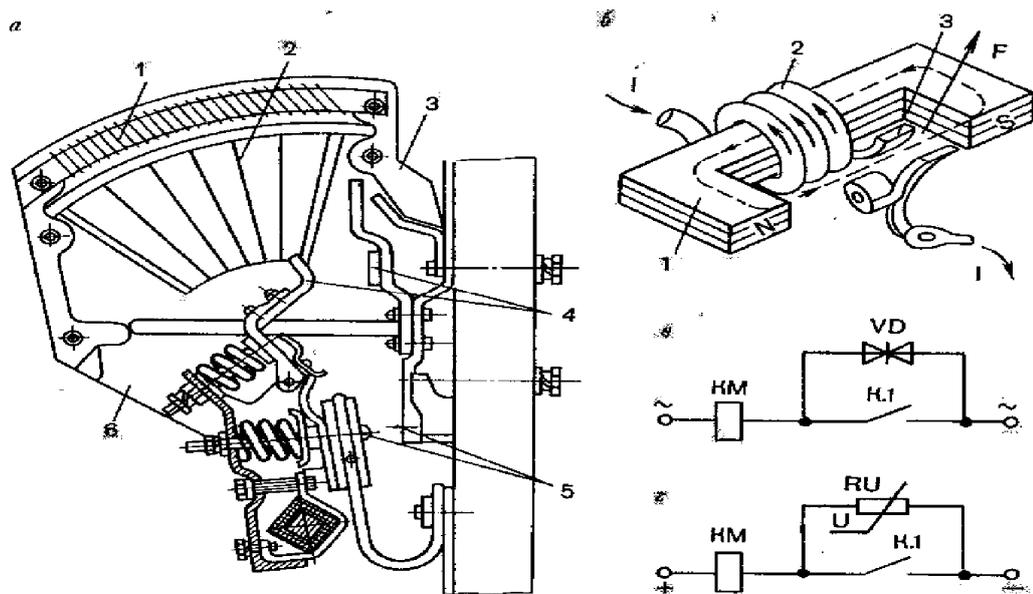


Рис. 13.2. Дугогасительные устройства (а, б) и схемы искрогашения (в, г) коммутационного аппарата

2. Контакты аппарата заключают в *дугогасительную камеру*, способствующую гашению электрической дуги и ограничивающую распространение ионизированных газов и пламени. Наиболее широко применяется дугогасительная камера с *деионной решеткой*, состоящая из двух изоляционных стенок 3 и 6 камеры и установленных между ними стальных омедненных пластин 2. Электрическая дуга, возникающая на контактах при отключении аппарата, втягивается в деионную решетку, разделяется на ряд последовательно соединенных коротких дуг и быстро гаснет. Чтобы предотвратить выброс пламени дуги из камеры, в верхней части ее установлено множество металлических пластин 1. Устройство дугогасительной камеры с деионной решёткой в аппаратах с мостиковым контактным узлом.

3. В коммутируемую цепь непосредственно перед неподвижным контактом 3 (рис. 13.2, б) включают катушку 2, выполненную из толстого медно-

го провода или полосы, с сердечником I из листовой электротехнической стали, полюсы которого с обеих сторон охватывают контакт. Магнитное поле катушки, взаимодействуя с дугой, выталкивает ее вверх на расходящиеся концы контактов. Такие катушки используют совместно с дугогасительными камерами. Полученное устройство называют *дугогасительной камерой с магнитным дутьем*.

Рассмотренные выше методы дугогашения применяют для контактных узлов, включенных в силовые цепи, т.е. при больших токах. В аппаратах, коммутирующих небольшие токи (до нескольких ампер), дуга между контактами не возникает, но при индуктивном характере нагрузки в коммутируемой цепи возможно значительное искрение, которое также неблагоприятно действует на состояние рабочих поверхностей контактов. Чтобы уменьшить искробразование на контактах, в цепях переменного тока параллельно контакту $K.I$ (рис. 13.2, в) присоединяют шунт, состоящий из двух включённых встречно полупроводниковых диодов VD . При постоянном токе он такт $K.I$ (рис. 13.5, з) шунтируют варистором RU – нелинейным резистором, сопротивление которого при большом напряжении на контактах в момент их размыкания невелико.

Лекция 14

Электромагнитные поля, излучения, нормирование

14.1. Характеристики электромагнитных полей.

Электромагнитное поле характеризуется векторами напряженности электрического E (В/м) и магнитного H (А/м) полей. Векторы E и H бегущей электромагнитной волны всегда взаимно перпендикулярны. При распространении в проводящей среде они связаны соотношением [1, 13]

$$E = H \sqrt{\frac{\omega \mu}{\gamma}} e^{-kz},$$

где ω — круговая частота электромагнитных колебаний; γ — удельная проводимость вещества экрана; μ — магнитная проницаемость этого веществ-

ва; κ — коэффициент затухания; z — расстояние от входной плоскости экрана до рассматриваемой точки.

При распространении в вакууме или воздухе $E = 377 H$.

Распространение электромагнитных волн связано с переносом энергии в поле. Вектор плотности потока энергии (интенсивность) электромагнитных волн J (Вт/м²) называется вектором Умова — Пойнтинга и определяется по формуле

$$\vec{J} = \vec{E} \times \vec{H}.$$

Согласно теории электромагнитного поля пространство около источника переменного электрического или магнитного полей делится на две зоны: ближнюю зону, или зону индукции, которая находится на расстоянии

$$R \leq \frac{\lambda}{2\pi} \simeq \frac{\lambda}{6}$$

— длина волны, определяемая из соотношения $\lambda = c/f$, где c — скорость распространения электромагнитных возмущений (для вакуума или воздуха — скорость света), f — частота электромагнитных колебаний] и зону излучения, которая находится на расстоянии $R > \lambda/6$.

В зоне индукции (ближнее поле) еще не сформировалась бегущая электромагнитная волна и электрическое и магнитное поле можно считать независимыми друг от друга, поэтому нормирование в этой зоне ведется как по электрической, так и по магнитной составляющим электромагнитного поля.

В зоне излучения (волновой зоне) поле характеризуется бегущей электромагнитной волной, наиболее важным параметром которой является плотность потока мощности. Нормирование в этой зоне ведется по интенсивности, которая обратно пропорциональна квадрату расстояния до точечного источника:

$$J = \frac{P_{\text{ист}}}{4\pi R^2},$$

где $P_{\text{ист}}$ — мощность излучения источника.

Если этот источник направленного действия (антенна), то

$$J = \frac{P_{\text{ист}} G}{4\pi R^2},$$

2

где G — коэффициент усиления антенны, определяемый из ее рас-
чета.

Таблица 14.1. Классификация электромагнитных волн радиочастот

Поддиапазон и его обозначение	Частота, Гц	Длина волн, м
Длинноволновый (ДВ)	$3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$	10 000 – 1000
Средневолновый (СВ)	$3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$	1 000 – 100
Коротковолновый (КВ)	$3 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^8$	100 – 1,0
Ультракоротковолновый (УКВ) . .	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^9$	1,0 – 0,1
Сверхвысоких частот (СВЧ) . . .	$3 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	0,1 – 0,001

Источниками электромагнитного излучения являются индукторы, конденсаторы термических установок с ламповыми генераторами (мощность которых обычно лежит в пределах от 8 до 200 кВт); фидерные линии, соединяющие отдельные части генераторов, трансформаторы, антенны, фланцевые соединения волноводных трактов, открытые концы волноводов, генераторы сверхвысоких частот.

В зависимости от длины волны, генерируемой этими источниками, весь радиодиапазон электромагнитных полей разбивается на поддиапазоны, приведенные в табл. 14.1 [15].

14.3. Воздействие переменных защитных полей на человека

Воздействие электромагнитных полей на человека зависит от напряженностей электрического и магнитного полей, интенсивности потока энергии, частоты колебаний, локализации облучений на поверхности тела и индивидуальных особенностей организма.

Механизм этого воздействия заключается в том, что в электрическом поле атомы и молекулы, из которых состоит человеческое тело, поляризуются, а полярные молекулы (например, воды), кроме того, ориентируются по

направлению распространения электромагнитного поля. В электролитах, которыми являются жидкие составляющие тканей, крови, межклеточной жидкости и т. п., после приложения внешнего поля появляются ионные токи. Переменное электрическое поле вызывает нагрев тканей тела человека как за счет переменной поляризации диэлектриков, так и за счет появления токов проводимости.

Тепловой эффект является следствием поглощения энергии электромагнитного поля. Кроме того, имеет место отражение электромагнитных волн от поверхности человеческого тела из-за изменения на этой границе волнового сопротивления среды.

Поглощение энергии и возникновение ионных токов сопровождается специфическим воздействием на биологические ткани, поскольку нарушается тонкая структура электрических потенциалов и циркуляции жидкости в клетках и внутренних органах.

Переменное магнитное поле приводит к изменению ориентации магнитных моментов атомов и молекул. Этот эффект слабее вызываемого внешним электрическим полем, но он также небезразличен для организма.

Чем больше напряженность поля и чем больше время воздействия, тем указанные эффекты проявляются сильнее.

Повышение частоты колебаний приводит к увеличению проводимости тела, доли поглощенной энергии и уменьшению глубины проникания волн, однако в этом случае поглощение происходит преимущественно во внутренних органах. Такое излучение наиболее вредно.

Избыточное тепло отводится до известного предела путем увеличения нагрузки на механизм терморегуляции. Начиная с некоторой величины ($J > 10$ мВт/см²), называемой тепловым порогом, организм не справляется с отводом образующегося тепла, температура тела повышается, что приносит большой вред здоровью.

Нагрев наиболее вреден для тканей со слаборазвитой сосудистой системой или с недостаточным кровообращением и недостаточно развитой системой терморегуляции (глаза, мозг, почки, желудок, кишки, желчный и мочевой пузыри). Облучение глаз вызывает катаракту. Обычно катаракта развивается не сразу, а через несколько дней или недель после облучения.

Биологические объекты. непосредственно влияют на нервную систему, изменяют ориентацию клеток или цепей молекул в соответствии с направлением силовых линий электрического поля, биохимическую ак-

тивность белковых молекул и состав крови. Нарушаются функции сердечно-сосудистой системы. Наблюдаются изменения углеводного, белкового и минерального обмена веществ. Однако эти изменения носят функциональный, обратимый характер; достаточно прекратить облучение недопустимого уровня — и болезненные явления исчезают.

14.4. Нормирование электромагнитных полей. Методы защиты.

Нормирование ЭМП промышленной частоты.

Нормирование ЭМП промышленной частоты осуществляют по предельно допустимым уровням напряженности электрического и магнитного полей частотой 50 Гц в зависимости от времени пребывания в нем и регламентируются СН 5802-91 «Санитарными нормами и правилами выполнения работ в условиях воздействия электрических полей промышленной частоты» и ГОСТ 12.1.002-84 «Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах» предусматривают следующие предельно допустимые величины:

- напряженность электромагнитных полей радиочастот на рабочих местах не должна превышать по электрической составляющей 20 В/м в диапазоне частот 100 кГц — 30 МГц и 5 В/м в диапазоне частот 30—300 МГц;

- по магнитной составляющей предельная величина равна 5 А/м в диапазоне частот 100 кГц — 1,5 МГц. В диапазоне СВЧ 300—300 000 МГц максимально допустимая плотность потока мощности при облучении в течение всего рабочего дня составляет 10 мкВт/см², при облучении не более 2 ч за рабочий день — 100 мкВт/см² и при облучении не более 15—20 мин 1000 мкВт/см² при условии обязательного использования защитных очков. В остальное рабочее время интенсивность облучения не должна превышать 10 мкВт/см².

В диапазоне СВЧ для лиц, не связанных профессионально с облучением, и для населения плотность потока мощности не должна превышать 1 мкВт/см².

Нормирование электромагнитных излучений

Допустимые уровни ЭМП на рабочих местах при работе с источниками электромагнитных излучений (ЭМИ) устанавливаются в соответствии с тре-

бованиями ГОСТа 12.1.006-84 ССБТ «Электромагнитные поля радиочастотам. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля на рабочих местах», которая распространяется на диапазоны частот 60 кГц — 300 ГГц.

В ближней зоне, которая имеет физическое значение при частотах до 300 МГц, нормируются напряженности электрической и магнитной составляющих полей.

В дальней зоне в диапазоне частот 300 МГц — 300 ГГц, в котором, как правило, и находится персонал, обслуживающий источники ЭМИ с длиной волны меньше метра, нормируется плотность потока энергии и энергетическую нагрузку.

В диапазоне частот 60 кГц — 300 МГц предельно допустимая напряженность ЭМП на рабочих местах в течение рабочего дня не может превышать следующих значений:

- для электрических полей:

F	МГц	0,06-1,5	30-50	50-300	
E,	В/м	50	20	10	5

для магнитных полей:

f,	МГц	H,	A	/	м	5	0,3
----	-----	----	---	---	---	---	-----

В случаях, когда время воздействия ЭМП на персонал не превышает 50% продолжительности рабочего дня, допускаются уровни, выше указанных, но не более чем вдвое.

Предельно допустимые значения ГПЭ ЭМП в диапазоне частот 300 МГц — 300 ГГц на рабочих местах для персонала следует определять, исходя из предельно допустимой энергетической нагрузки ЕНГДР на организм и времени воздействия .

Нормированное значение ЕНГДР за рабочий день составляет 2 Вт/м² для всех случаев облучения, кроме облучения от вращающихся и сканирующих антенн, и 20 Вт/м² для случаев облучения от таких антенн.

На практике встречаются ситуации, когда в помещение или в окружающую среду одновременно поступает излучения различных частотных диапазонов, для которых установлены различные санитарные нормативы. В таком случае измерения выполняют отдельно для каждого источника при исключении других.

Чаще человеку приходится работать с источниками ЭМП промышленной частоты 50 Гц. В этом случае обслуживающий персонал находится в ближней зоне, а основным параметром, характеризующим биологическое

действие ЭМИ, является электрическая напряженность. Магнитная же составляющая заметного влияния на организм не оказывает, потому напряженность магнитного поля в действующих установках и вокруг высоковольтных линий напряжением до 750 кВ включительно не превышает 25 А / м. Согласно ДНАОП 0.03-3.13-85 (СН 3206-85) «Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц» их вредное биологическое действие проявляется при напряженности 1,4 кА / м.

На напряженность электрического поля промышленной частоты и характер его распределения влияет напряжение электроустановок и высоковольтных линий.

Специальные наблюдения и исследования, проведенные во многих странах, позволили выяснить, что заметные изменения в здоровье обслуживающего персонала возникают в случае напряжения выше 400 кВ. Допустимые уровни напряженности электрического поля частотой 50 Гц в зависимости от продолжительности его воздействия на человека предусмотренные ГОСТом 12.1.002-84 ССБТ «Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах».

ГДР напряженности электрического поля устанавливается 25 кВ / м. Пребывание в электрических полях напряженностью более 25 кВ / м без средств защиты запрещается. Пребывание в электрических полях напряженностью до 5 кВ / м допускается в течение рабочего дня. Оценку постоянных магнитных полей осуществляют согласно ДНАОП 0.03-3.04-77 (СН 1742-74) «Предельно допустимые уровни воздействия постоянных магнитных полей при работе с магнитными устройствами и магнитными материалами». Напряженность постоянных магнитных полей не должна превышать 8 кА / м.

Для измерения напряженности электрического и магнитного полей в диапазоне частот 60 кГц — 300 МГц используют приборы ВЕМП-1 и ВЕМП-Т, для измерения плотности потока энергии в диапазоне частот 300 МГц — 300 ГГц применяют приборы ПЗ-9, ПО-13, а напряженность электрического поля промышленной частоты измеряют приборами ПЗ-1 и ВНЕП-50.

Из формулы (21) видно, что ослабление мощности электромагнитного поля на рабочем месте можно достигнуть путем увеличения расстояния между антенной и рабочим местом; уменьшения мощности излучения генератора; установки отражающего или поглощающего экранов между антенной и рабочим местом; применения индивидуальных средств защиты.

«Защита расстоянием» является наиболее простым и эффективным методом. Он вполне применим для персонала, которому при выполнении работы нет необходимости находиться вблизи источников электромагнитного излучения, а также при дистанционном управлении излучающей установкой. Для того чтобы иметь возможность использовать этот метод, помещение, в котором ведутся работы, должно быть достаточных размеров.

Одним из способов снижения излучаемой мощности является замена мощного генератора менее мощным, если это возможно по технологии выполнения работ. Другим путем уменьшения мощности излучения может быть применение поглощающих нагрузок — эквивалентов антенн или ослабителей мощности — аттенюаторов, которые полностью поглощают или в необходимой степени ослабляют передаваемую энергию на пути ее от генератора к излучающему устройству.

Поглощающие нагрузки бывают коаксиальные и полноводные, их схемы представлены на рис. 53. Поглотителем энергии служит графитовый или специальный углеродистый состав, а также различные диэлектрики с потерями. Для охлаждения поглощающих нагрузок применяют охлаждающие ребра (рис. 53, г) или проточную воду (рис. 53, в, е). Для согласования коаксиальных линий и волноводов с поглощающими нагрузками используют скошенные (рис. 53, а и г), а также клинообразные (рис. 53, б и в) и ступенчатые (рис. 53, д) переходы или же диэлектрические шайбы (рис. 53, е).

Аттенюаторы, применяемые для понижения мощности излучения до необходимого значения и используемые в коаксиальных линиях и волноводах, бывают постоянные и переменные. Первые из них работают на принципе поглощения электромагнитных колебаний материалами с большим коэффициентом поглощения. К таким материалам относятся резина, полистирол и др. На рис. 54 изображены различные типы аттенюаторов с постоянным затуханием. Волноводные аттенюаторы с переменным затуханием ножевого и пластинчатого типа приведены на рис. 55. «Нож» (рис. 55, а) и пластины (рис. 55, б) таких аттенюаторов изготавливают из диэлектрика, покрытого тонкой металлической пленкой, и помещают параллельно электрическим силовым линиям электромагнитного поля. Регулировка величины затухания аттенюаторов производится погружением «ножа» в волновод или сближением пластин, вследствие чего увеличивается поглощение энергии диэлектриком аттенюатора.

При правильном использовании поглощающих нагрузок и аттенюаторов интенсивность излучения электромагнитной энергии в окружающее про-

странство ослабляется на 60 дБ и более, а плотность потока мощности достигает величины менее 10 мкВт/см².

Весьма эффективным и часто применяемым методом защиты от электромагнитных излучений является установка экранов. Экранировать можно или сам источник излучения, или рабочее место. Отражающие экраны делают из хорошо проводящих металлов — алюминия, стали, лучше — из меди и латуни. Защитное действие обусловлено тем, что экранируемое поле создает в экране токи Фуко, наводящие в нем вторичное поле, по амплитуде почти равное, а по фазе противоположное экранируемому полю. Результирующее поле, получающееся при сложении этих двух полей, очень быстро убывает в экране, проникая в него на незначительную величину.

Рассчитаем ослабление, даваемое экраном, и толщину экрана. Обозначим через P_0 , J_0 — мощность и плотность потока мощности экранируемого излучения; P , J — мощность и плотность потока мощности (ослабленного) излучения за экраном. Тогда ослабление излучения (дБ) можно определить по формуле

$$L = 10 \lg \frac{P}{P_0} = 10 \lg \frac{J}{J_0}.$$

Скорость уменьшения амплитуды падающей волны по мере ее проникновения в проводящую среду характеризует понятие глубины проникновения, под которой понимают расстояние вдоль распространения волны, на котором амплитуда падающей волны E_a (или H_a) уменьшается в e раз [см. формулу (20)]. Глубину проникновения определяют из выражения

т. е. $kz = 1$, $z = 1/k$ Коэффициент где γ — проводимость 1/Ом*м; μ — магнитная проницаемость, Ом*с/м = Г/м.

Следовательно, глубина проникновения зависит от свойств проводящей среды и от частоты ω .

Так, если электромагнитная волна имеет частоту $f = 9$ кГц и проникает в среду, у которой $\gamma = 10^5$ 1/Ом*см (сталь), то

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = 10^3,$$

где μ_0 — проводимость вакуума; $\mu = \mu_{ст}$. Величина коэффициента

$$k = \sqrt{\frac{\omega \gamma \mu}{2}} = \sqrt{\frac{2\pi \cdot 9000 \cdot 4\pi \cdot 10^{-9} \cdot 10^3 \cdot 10^5}{2}} = 188,4 \text{ 1/см.}$$

Отсюда глубина проникновения

$$z = 1/k = 0,005 \text{ см} = 0,05 \text{ мм.}$$

Таким образом, на маленьком расстоянии 0,05 мм амплитуда падающей волны E_a и H_a снизится в 2,7 раза даже при очень низкой частоте; с ростом частоты эта величина уменьшается еще более.

Глубину проникновения можно вычислить и для любого заранее заданного ослабления электромагнитного поля, если член ослабления e^{-kz} приравнять заданной величине M :

$$e^{-kz} = M.$$

Прологарифмировав это выражение и решив его относительно z , получим

$$z = \frac{\ln M}{k} = - \frac{\ln M}{\sqrt{\frac{\omega\mu}{2}}}.$$

Исходя из прочности экранов, они должны изготавливаться толщиной не менее 0,5 мм из листового материала с высокой электропроводностью. Смотровые окна и другие технологические отверстия нужно экранировать густой металлической сеткой с ячейками не более 4X4 мм. Экран должен заземляться. Швы между отдельными листами экрана или сетки должны обеспечивать надежный электрический контакт между соединяемыми элементами, так как иначе эффективность экранирования будет недостаточной. Шов выполняется сваркой, пайкой или точечной электросваркой с шагом не более 50—100 мм.

Для защиты работающих от электромагнитных излучений следует также применять заземленные экраны в виде камер или шкафов, в которые помещается целиком передающая аппаратура; кожухов, ограждающих только антенны; ширм, устанавливаемых на пути излучения.

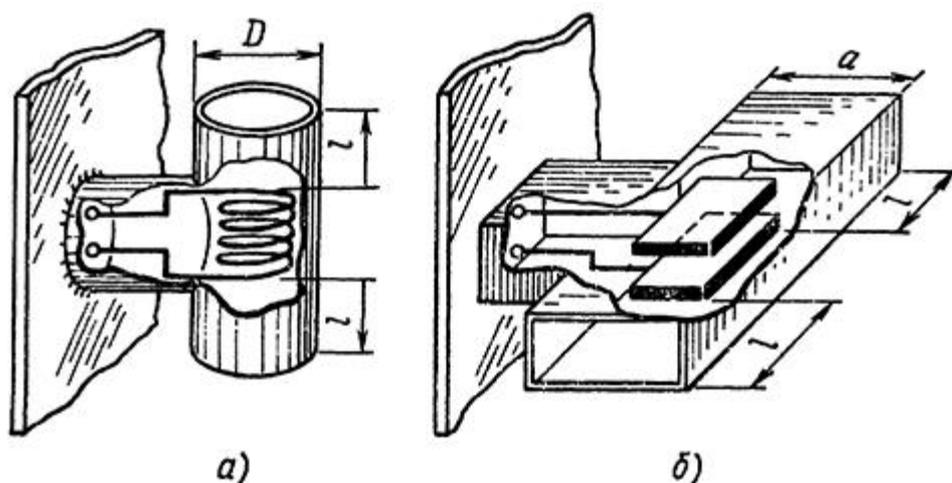


Рис. 14.1. Экранирование волноводными фильтрами: а — индуктора; б — конденсатора

Если отраженная от экрана радиоволна может попасть на рабочее место, то экран покрывают радиопоглощающим материалом. В качестве поглощающих материалов применяют следующие предметы: коврики резиновые марки ВКФ-1, В2Ф2, В2Ф3, пластины магнитодиэлектрически марки ХВ — 0,8; ХВ — 2,0; ХВ — 3,2 и т. д. (цифра указывает длину волны), поглощающее покрытие на основе поролона типа «Болото». Эти материалы имеют коэффициент отражения по мощности не более 1—2%.

Лекция 15

Молниезащита

Молниезащита— это комплекс технических решений и специальных приспособлений для обеспечения безопасности здания, а также имущества и людей, находящихся в нём. На земном шаре ежегодно происходит до 16 миллионов гроз, то есть около 44 тысяч за день [2.3].

15.1. Опасность разрядов атмосферного электричества

Опасность для зданий (сооружений) в результате прямого удара молнии может привести к:

- повреждению здания (сооружения) и его частей;
- отказу находящихся внутри электрических и электронных частей;
- гибели и травмированию живых существ, находящихся непосредственно в здании (сооружении) или вблизи него.

Молниезащита зданий разделяется на внешнюю и внутреннюю.

15.2. Внешняя система молниезащиты

Внешняя молниезащита представляет собой систему, обеспечивающую перехват молнии и отвод её в землю, тем самым, защищая здание (сооружение) от повреждения и пожара. В момент прямого удара молнии в строительный объект правильно спроектированное и сооруженное молниезащитное устройство должно принять на себя ток молнии и отвести его по токоотводам в систему заземления, где энергия разряда должна безопасно рассеяться. Прохождение тока молнии должно произойти без ущерба для защищаемого объекта и быть безопасным для людей, находящихся как внутри, так и снаружи этого объекта.

Существуют следующие виды внешней молниезащиты:

- молниеприемная сеть;
- натянутый молниеприемный трос;
- молниеприемный стержень.

Помимо вышеупомянутых традиционных решений (приведенных как в международном стандарте МЭК 62305.4, так и в российских нормативных документах РД 34.21.122-87 и СО 153—343.21.122-2003) с середины 2000х годов получает распространение молниезащита с системой ранней стримерной эмиссии, также именуемая активной молниезащитой. Однако нет никаких надёжных доказательств того, что активная молниезащита работает эффективнее, чем традиционная молниезащита тех же размеров^[21].

В общем случае внешняя молниезащита состоит из следующих элементов:

- **Молниеотвод** (молниеприёмник, громоотвод) — устройство, перехватывающее разряд молнии. Выполняется из металла (нержавеющая либо оцинкованная сталь, алюминий, медь)
- **Токоотводы** (спуски) — часть молниеотвода, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.
- **Заземлитель** — проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через проводящую среду. Система звукового оповещения об обнаружении грозových облаков

15.3. Внутренняя система молниезащиты

Внутренняя молниезащита представляет собой совокупность устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП). Назначение УЗИП защи-

тить электрическое и электронное оборудование от перенапряжений в сети, вызванных резистивными и индуктивными связями, возникающих под воздействием тока молнии. Общепринято выделяют перенапряжения, вызванные прямыми и непрямыми ударами молнии. Первые происходят в случае попадания молнии в здание (сооружение) или в подведенные к зданию (сооружению) линии коммуникаций (линии электропередачи, коммуникационные линии). Вторые — вследствие ударов вблизи здания (сооружения) или удара молнии вблизи линий коммуникаций. В зависимости от типа попадания различаются и параметры перенапряжений.

Перенапряжения, вызванные прямым ударом, именуется Тип 1 и характеризуются формой волны 10/350 мкс. Они наиболее опасны, так как несут большую запасенную энергию.

Перенапряжения, вызванные непрямым ударом, именуется Тип 2 и характеризуются формой волны 8/20 мкс. Они менее опасны: запасенная энергия примерно в семнадцать раз меньше, чем у Тип 1.

Соответствующим образом классифицируются и УЗИП.

15.4. Нормативные документы

В России сложилась непростая ситуация с нормативными документами, регламентирующими требования к молниезащите зданий. В настоящий момент существуют два документа, на основе которых можно спроектировать систему молниезащиты.

Это «Инструкция по молниезащите зданий и сооружений» РД 34.21.122-87^[31] от 30 июля 1987 года и «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» СО 153—343.21.122-2003 от 30 июня 2003 года.

В соответствии с положением Федерального закона от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ «О техническом регулировании» ст. 4, органы исполнительной власти вправе утверждать документы и акты только рекомендательного характера. К такому документу и относится «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» СО 153—343.21.122-2003.

Приказ Минэнерго России от 30.06.03 № 280 не отменяет действие предыдущего издания «Инструкция по молниезащите зданий и сооружений» от 30 июля 1987 года. Таким образом, проектные организации вправе использо-

вать при определении исходных данных и при разработке защитных мероприятий положение любой из упомянутых инструкций или их комбинацию.

Процесс проектирования осложняется и тем фактом, что ни одна из указанных инструкций не освещает вопроса применения устройств защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений. Старая редакция инструкции вообще не предусматривала такого раздела, а новое СО 153—343.21.122-2003 освещает этот вопрос только на уровне теории, никаких указаний по практическому применению устройств защиты не предусмотрено. Все вопросы, которые не освещены в самой инструкции, предписывается рассматривать в других нормативных документах соответствующей тематики, в частности стандартов организации МЭК (Международной Электротехнической Комиссии).

В декабре 2011 Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии выпустило ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 «Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 1. Общие принципы» и ГОСТ Р МЭК 62305-2-2010 «Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 2. Оценка риска». Данные документы представляют собой аутентичный текст стандарта МЭК 62305, состоящий из четырёх частей, и призваны прояснить ситуацию с системами молниезащиты на территории Российской Федерации.

Типы УЗИП и типичные схемы применения внутренней молниезащиты

Устройство защиты от импульсных перенапряжений

Устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) делятся на тип 1, тип 2 и тип 3.

Тип 1 способен пропустить через себя всю энергию типичного удара молнии, не разрушившись. Но, за устройством типа 1 сохраняется достаточно большой бросок напряжения (единицы киловольт).

Обычно тип 1 устанавливается только в сельской местности с воздушными линиями. Рекомендации требуют типа 1 в зданиях с громоотводами, а также в зданиях, подключенных воздушными линиями, и в зданиях, отдельно стоящих или находящихся рядом с высокими объектами (деревьями).

По этим же рекомендациям городская квартирная и офисная проводка не требует типа 1 (считается, что тип 1 уже есть на КТП).

Тип 2 не способен самостоятельно, без предшествующего типа 1, выдержать без разрушения удар молнии. Однако же его живучесть гарантирует

ся в случае совместного применения с типом 1. Бросок напряжения за типом 2 обычно около 1.4-1.7 кВ.

Тип 3 для своей живучести требует применения типов 1 и 2 перед собой, и устанавливается непосредственно рядом с потребителем. Им может являться, например, сетевой фильтр или же варисторная защита в блоках питания некоторых бытовых устройств (автоматика отопительных котлов). УЗИП не защищает от длительных перенапряжений, например, от повышения до 380В при «отгорании нуля». Более того, длительные перенапряжения могут привести к выходу УЗИП из строя. В случае сквозного прогорания УЗИП от фазы до РЕ возможно выделение на нем огромного количества тепла и пожар в щитке. Для защиты от этого УЗИП обязательно должен устанавливаться с защитой — плавкими вставками или же автоматическими выключателями.

В случае, когда вводной «автомат» имеет номинал $\leq 25\text{А}$, возможно подключение УЗИП за ним, в этом случае вводной автомат также выполняет функции защиты УЗИП.

Схемы молниезащиты выполняются либо с приоритетом безопасности, либо с приоритетом бесперебойности. В первом случае недопустимо разрушение УЗИП и иных устройств, а также ситуация, когда временно отключается молниезащита, но допустимо срабатывание автоматики с полным отключением потребителей. Во втором случае допустимо временное отключение молниезащиты, но недопустим перебой в снабжении потребителей.

При одновременной установке типа 1 и типа 2 расстояние между ними по кабелю должно быть не менее 10 м, расстояние от типа 2 до типа 3 и потребителей — также не менее 10 м. Это создает индуктивность, нужную для того, чтобы автомат более высокой ступени срабатывал раньше. Возможно также и использование УЗИП типов 1+2, совмещающих в одном корпусе оба устройства (защищается от прогорания так же, как тип 1).

Устройства УЗИП имеют разные исполнение для различных систем TN-C, TN-S и TT. Необходимо выбирать устройство под свою систему заземления.

Лекция 16

Оказание первой доврачебной медицинской помощи пострадавшим от электрического тока

16.1. Общие положения

Основными условиями успеха при оказании первой помощи потерпевшим от электрического тока и при других несчастных случаях являются быстрота действий, находчивость и умение оказывающего помощь. Эти качества могут быть выработаны соответствующими тренировочными упражнениями и приобретением навыков. Спасение пострадавшего от электрического тока в большинстве случаев зависит от быстроты освобождения от тока, а также от быстроты и правильности оказания пострадавшему первой помощи. Не следует отказываться от помощи пострадавшему и считать его мертвым из-за отсутствия дыхания, сердцебиения, пульса. При поражении электрическим током смерть часто бывает кажущейся, вследствие чего решить вопрос о целесообразности или бесполезности дальнейших мероприятий по оживлению пострадавшего и вынести заключение о смерти имеет право только врач [13, 15].

Весь персонал, обслуживающий электроустановки, должен периодически проходить инструктаж об опасности поражения электрическим током

и способах оказания первой помощи пострадавшим, а также практические обучения приемам освобождения от электрического тока, способам производства искусственного дыхания и наружного (непрямого) массажа сердца. Занятия должны проводиться лицами медицинского персонала совместно с техническим персоналом.

В местах постоянного дежурства должны иметься:

медицинская аптечка для оказания первой помощи;

вывешенные на видных местах плакаты о правилах оказания первой помощи, производства искусственного дыхания и наружного массажа сердца.

Для правильной организации работ по оказанию первой помощи необходимо обеспечить выполнение следующих условий:

в каждом структурном подразделении организации должны быть выделены лица (в каждой смене), на обязанности которых возлагается ответственность за систематическое пополнение и состояние медицинских аптечек;

работники должны быть обучены оказанию первой доврачебной помощи.

Помощь пострадавшему, оказываемая не специалистом, не может заменить помощи со стороны медицинского персонала и оказывается до прибытия врача.

Постановлением Министерства Здравоохранения Республики Беларусь от 04 декабря 2014 г. №80 «Об установлении перечней аптечек первой помощи, аптечек скорой медицинской помощи, вложений, входящих в эти аптечки, и определении порядка их комплектации», определён перечень вложений, входящих в аптечку первой помощи универсальную

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Количество из расчета на 2–10 человек
1	Аммония раствор 10 % – 1 мл №10 или 10 % – 10 мл (40 мл)	Упаковка Флакон	1 1
2	Валерианы экстракт 0,02 №30	Упаковка	1

3	Валидол 0,06 №10 или 0,1 №20	Упаковка	1
4	Глицерил тринитрат 0,0005 №40	Упаковка	1
5	Дротаверина гидрохлорид 0,04 №40	Упаковка	1
6	Йода спиртовой раствор 5 % – 10 мл (40 мл) или 5 % – 1 мл №10	Флакон Упаковка	1 1
7	Калия перманганат порошок для приготовления раствора 5,0 (3,0)	Упаковка	1
8	Кеторолак 0,01 №10	Упаковка	1
9	Лоратадин 0,01 №10	Упаковка	1
10	Магния сульфат порошок для приготовления раствора для внутреннего применения 10,0 (20,0)	Упаковка	1
11	Натрия гидрокарбонат порошок для приготовления раствора для внутреннего применения 10,0 (20,0)	Упаковка	1
12	Нафазолин капли для носа 0,1 % – 10 мл или Ксилометазолина капли для носа 0,1 % – 10 мл	Флакон	1
13	Параскофен №10 или Цитрамон 0,5 №10	Упаковка	1
14	Парацетамол 0,5 №10	Упаковка	1
15	Перекись водорода раствор 3 % – 40 мл (100 мл)	Упаковка	1
16	Сульфацетамида раствор 20 % – 1 мл (1,5 мл) тубик-капельница №2 или Сульфацетамида раствор 20 % (30 %) – 5 мл	Упаковка Флакон	1 1
17	Уголь активированный 0,25 №10	Упаковка	1
18	Бинты нестерильные: 5 м x5 см 5 м x10 см 7 м x14 см	Упаковка Упаковка Упаковка	2 2 2
19	Вата гигроскопическая стерильная 50,0	Упаковка	1
20	Жгут кровоостанавливающий Эсмарха	Упаковка	1
21	Лейкопластырь бактерицидный 4 x10 см (6 x10 см)	Упаковка	3
22	Лейкопластырь катушечный 1 x500 см (2 x500 см)	Упаковка	1
23	Мензурка для лекарственных средств одноразовая (стакан)	Упаковка	3
24	Напальчник резиновый №10	Упаковка	1
25	Ножницы тупоконечные 14 см	Упаковка	1
26	Перчатки латексные смотровые нестерильные (стерильные): №7 (M) №8 (L)	Пара Пара	1 1

27	Салфетка стерильная размером 16 x14 см (45 x29 см) №1	Упаковка	5
28	Термометр медицинский электронный или ртутный (безртутный) в футляре	Упаковка	1

16.2. Освобождение от электрического тока

Прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением, вызывает в большинстве случаев непроизвольное судорожное сокращение мышц. Вследствие этого пальцы, если пострадавший держит провод руками, могут так сильно сжиматься, что высвободить провод из его рук становится невозможным [9].

Если пострадавший соприкасается с токоведущими частями, необходимо, прежде всего, быстро освободить его от действия электрического тока. При этом следует иметь в виду, что прикасаться к человеку, находящемуся под действием электрического тока без применения надлежащих мер предосторожности опасно для жизни оказывающего помощь. Поэтому первым действием оказывающего помощь должно быть быстрое отключение той части установки, которой касается пострадавший.

При этом необходимо учитывать следующее: в случае нахождения пострадавшего на высоте отключение электроустановки и освобождение пострадавшего от воздействия электрического тока могут привести к падению пострадавшего с высоты; в этом случае должны быть приняты меры, обеспечивающие безопасность падения пострадавшего; при отключении установки может одновременно отключиться также и электрическое освещение, в связи с чем, следует обеспечить освещение от другого источника (фонарь, факел, свечи, аварийное освещение и т.п.).

Если отключение установки не может быть произведено достаточно быстро, необходимо принять меры к отделению пострадавшего от токоведущих частей, к которым он прикасается.

При напряжении до 1000 В

Для отделения пострадавшего от токоведущих частей или провода следует воспользоваться сухой одеждой, канатом, палкой, доской или каким-либо другим сухим предметом, не проводящим электрический ток. Использование для этих целей металлических или мокрых предметов не допускается. Для отделения пострадавшего от токоведущих частей можно также взяться за его одежду (если она сухая и отстает от тела пострадавшего), например, за полы пиджака или пальто, избегая при

этом прикосновения к окружающим металлическим предметам и частям тела, не прикрытым одеждой. Оттаскивая пострадавшего за ноги, не следует касаться его обуви или одежды без хорошей изоляции своих рук, так как обувь и одежда могут быть сырыми и являться проводниками электрического тока [2, 3, 9].

Для изоляции рук оказывающий помощь, особенно если необходимо коснуться тела пострадавшего, не прикрытого одеждой, должен надеть диэлектрические перчатки или обмотать себе руки шарфом, надеть на руки суконную фуражку, опустить на руку рукав пиджака или пальто, использовать прорезиненную материю (плащ) или просто сухую материю. Можно также изолировать себя, встав на сухую доску или какую-либо другую, не проводящую электрический ток подстилку, сверток одежды и т.п. При отделении пострадавшего от токоведущих частей рекомендуется действовать по возможности одной рукой.

При затруднении отделения пострадавшего от токоведущих частей следует перерубить или перерезать провода топором с сухой деревянной рукояткой или другим соответствующим изолирующим инструментом. Производить это нужно с осторожностью (не касаясь проводов, перерезая каждый провод в отдельности, надев диэлектрические перчатки и галоши).

При напряжении свыше 1000 В

Для отделения пострадавшего от земли или токоведущих частей, находящихся под высоким напряжением, следует надеть диэлектрические перчатки и боты и действовать штангой или клещами, рассчитанными на напряжение данной установки. На линиях электропередачи, когда освобождение пострадавшего от тока одним из указанных выше способов быстро и безопасно сделать невозможно, следует прибегнуть к короткому замыканию всех проводов линии (наброс и т.п.) и к надежному предварительному их заземлению. При этом должны быть приняты меры предосторожности с тем, чтобы набрасываемый провод не коснулся тела спасающего и пострадавшего. Кроме того, необходимо иметь в виду следующее [2, 3, 9].:

- если пострадавший находится на высоте, следует предупредить или обезопасить его падение;

- если пострадавший касается одного провода, то часто оказывается достаточным

выполнить заземление только одного этого провода;

- провод, применяемый для заземления и закорачивания, следует сначала соединить с землей, а затем набросить на линейные провода, подлежащие заземлению.

Следует также иметь в виду, что и после отключения линии на ней в случае ее большой емкости может сохраниться заряд, опасный для жизни, и что обезопасить линию может лишь надежное заземление ее.

16.3. Требования безопасности при оказании первой помощи пострадавшему от электрического тока

Меры первой помощи зависят от состояния, в котором находится пострадавший после освобождения его от электрического тока.

Для определения этого состояния необходимо немедленно произвести следующие мероприятия:

- уложить пострадавшего на спину на твердую поверхность;
- проверить наличие у пострадавшего дыхания (определить по подъему грудной клетки или каким - либо другим способом);
- проверить наличие у пострадавшего пульса на лучевой артерии у запястья или на сонной артерии на передней боковой поверхности шеи;
- выяснить состояние зрачка (узкий или широкий);
- широкий зрачок указывает на резкое ухудшение кровоснабжения мозга. Во всех случаях поражения электрическим током вызов врача является обязательным независимо от состояния пострадавшего.

Если пострадавший находится в сознании, но до этого был в состоянии обморока, его следует уложить в удобное положение (подстелить под него и накрыть его сверху чем - либо из одежды) и до прибытия врача обеспечить полный покой, непрерывно наблюдая за дыханием и пульсом. Ни в коем случае нельзя позволять пострадавшему двигаться, а тем более продолжать работу, так как отсутствие тяжелых симптомов после поражения электрическим током не исключает возможности последующего ухудшения состояния пострадавшего. В случае отсутствия возможности быстро вызвать врача необходимо срочно доставить пострадавшего в лечебное учреждение, обеспечив для этого необходимые транспортные средства или носилки.

Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но с сохранившимся устойчивым дыханием и пульсом, его следует ровно и удобно уложить, расстегнуть одежду, создать приток свежего воздуха, давать нюхать нашатырный спирт, обрызгивать его водой и обеспечить полный покой. Одновременно следует срочно вызвать врача. Если пострадавший плохо дышит - очень редко и судорожно (как умирающий), ему следует делать искусственное дыхание и массаж сердца.

При отсутствии у пострадавшего признаков жизни (дыхания и пульса) нельзя считать его мертвым, так как смерть часто бывает лишь кажущейся. В таком состоянии пострадавший, если ему не будет оказана немедленная первая помощь в виде искусственного дыхания и наружного (непрямого) массажа сердца, действительно умрет. Искусственное дыхание следует производить непрерывно, как до, так и после прибытия врача. Вопрос о целесообразности или бессмысленности дальнейшего проведения искусственного дыхания решается врачом.

При оказании помощи мнимому умершему бывает дорога каждая секунда, поэтому первую помощь следует оказывать немедленно и, по возможности, на месте происшествия. Переносить пострадавшего в другое место следует только в тех случаях, когда ему или лицу, оказывающему помощь, продолжает угрожать опасность или когда оказание помощи на месте невозможно.

Пораженного электрическим током можно признать мертвым только в случае наличия видимых тяжелых внешних повреждений, например, в случае раздробления черепа при падении или при обгорании всего тела. В других случаях констатировать смерть имеет право только врач.

Лекция 17

Основные правила оказания первой помощи

17.1. При производстве искусственного дыхания и наружного массажа сердца

Оживление организма, пораженного электрическим током, может быть произведено несколькими способами. Все они основаны на проведении искусственного дыхания. Однако, самым эффективным является способ “рот в рот”, проводимый одновременно с непрямой массажем сердца. Искусственное дыхание следует производить только в случае, если пострадавший не дышит или дышит очень плохо (редко, судорожно, как бы с всхлипыванием, как умирающий), а также, если дыхание пострадавшего постепенно ухудшается. Начинать искусственное дыхание следует немедленно после освобождения пострадавшего от электрического тока и производить непрерывно до достижения положительного результата или появления бесспорных признаков действительной смерти (появления трупных пятен или трупного окоченения). Наблюдались случаи, когда мнимо умершие после поражения электрическим током были возвращены к жизни через несколько часов [15, 16].

Во время производства искусственного дыхания необходимо внимательно наблюдать за лицом пострадавшего. Если он пошевелит губами или веками или сделает глотательное движение гортанью (кадыком), нужно проверить, не сделает ли он самостоятельного вдоха. Производить искусственное дыхание после того, как пострадавший начнет дышать самостоятельно и равномерно, не следует, так как продолжение искусственного дыхания может причинить ему лишь вред.

Если после нескольких мгновений ожидания окажется, что пострадавший не дышит, производство искусственного дыхания следует немедленно возобновить.

Прежде чем приступить к производству искусственного дыхания, необходимо:

- быстро, не теряя ни секунды, освободить пострадавшего от стесняющей дыхание одежды - расстегнуть ворот, развязать галстук или шарф, расстегнуть брюки и т.п.;

- так же быстро освободить рот пострадавшего от посторонних предметов (удалить вставные челюсти, если они имеются) и слизи;

- если рот пострадавшего крепко стиснут, раскрыть его путем выдвижения челюсти;

- для этого надо 4 пальца обеих рук поставить позади углов нижней челюсти и, упираясь большими пальцами в ее край, выдвигать нижнюю челюсть вперед так, чтобы нижние зубы стояли впереди верхних.

Если таким образом раскрыть рот не удастся, следует у угла рта между задними коренными зубами и (но не передними) осторожно, чтобы не сломать зубы, вставить дощечку, металлическую пластинку, ручку ложки или другой подобный предмет и с их помощью разжать зубы.

17.2. При способе искусственного дыхания «Рот в рот» и непрямой массаж сердца

Этот способ является сравнительно новым и наиболее эффективным, поскольку количество воздуха, поступающего в легкие пострадавшего за один вдох, в 4 раза больше, чем при старых способах искусственного дыхания. Кроме того, при применении данного метода искусственного дыхания обеспечивается возможность контроля поступления воздуха в легкие пострадавшего по отчетливо видимому расширению грудной клетки после каждого вдувания воздуха и последующему опаданию грудной клетки после прекращения вдувания в результате пассивного выхода воздуха через дыхательные пути наружу.

Приспособление для производства искусственного дыхания состоит из двух отрезков резиновой или гибкой пластмассовой трубки диаметров 8 - 12 мм, длиной 60 и 100 мм, натянутых на металлическую или твердую пластмассовую трубку длиной 40 мм, и овального фланца, выре-

занного из плотной резины. Фланец натягивается на стык отрезков трубок плотно зажимая место их соединения.

Для производства искусственного дыхания пострадавшего следует уложить на спину, раскрыть ему рот и после удаления из рта посторонних предметов и слизи (платком или концом рубашки) вложить в него трубку: взрослому - длинным концом, а ребенку (подростку) - коротким концом. При этом необходимо следить, чтобы язык пострадавшего не западал назад и не закрыл дыхательного пути, и чтобы вставленная в рот трубка попала в дыхательное горло, а не в пищевод. Для предотвращения западания языка нижняя челюсть пострадавшего должна быть слегка выдвинута вперед. Для раскрытия гортани следует запрокинуть голову пострадавшего назад, подложить под затылок одну руку, а второй рукой надавить на лоб пострадавшего так, чтобы подбородок оказался на одной линии с шеей. При таком положении головы просвет глотки и верхних дыхательных путей значительно расширяется и обеспечивается их полная проходимость, что является основным условием успеха искусственного дыхания по этому методу.

Для того чтобы выправить трубку во рту и направить ее в дыхательное горло, следует также слегка подвигать вверх и вниз нижнюю челюсть пострадавшего. Затем, встав на колени над головой пострадавшего, следует прижать к его губам фланец, а большими пальцами обеих рук зажать пострадавшему нос с тем, чтобы вдвухаемый через приспособление воздух не выходил обратно, минуя легкие. Сразу после этого оказывающий помощь делает в трубку несколько сильных выдохов и продолжает их со скоростью около 10 - 12 выдохов в минуту (каждые 5 - 6 секунд) до полного восстановления дыхания пострадавшего или до прибытия врача. Для обеспечения возможности свободного выдоха из легких пострадавшего оказывающий помощь после каждого вдвухания должен освободить рот и нос пострадавшего (не вынимая при этом изо рта пострадавшего трубку приспособления).

При каждом вдвухании грудная клетка пострадавшего должна расширяться, а после освобождения рта и носа самостоятельно опускаться. Для обеспечения более глубокого выдоха можно легким нажимом на грудную клетку помочь выходу воздуха из легких пострадавшего. В процессе проведения искусственного дыхания оказывающий помощь должен следить за тем, чтобы вдвухаемый им воздух попадал в легкие, а не в живот пострадавшего. При попадании воздуха в живот, что может быть обнаружено по отсутствию расширения грудной клетки и вздутию живота, необходимо быстро, нажатием на верхнюю часть живота под диафрагмой, выпустить воздух и установить дыхательную трубку в нужное положение путем повторного перемещения вверх и вниз нижней челюсти пострадавшего. После этого следует быстро возобновить искусственное дыхание приведенным выше способом. При отсутствии на

месте происшествия необходимого приспособления следует быстро раскрыть у пострадавшего рот (приведенным выше способом), удалить из него посторонние предметы и слизь, запрокинуть ему голову и оттянуть нижнюю челюсть. После этого оказывающий помощь делает глубокий вдох и с силой выдыхает в рот пострадавшего. При вдувании воздуха оказывающий помощь плотно прижимает свой рот к лицу пострадавшего так, чтобы по возможности охватить своим ртом весь рот пострадавшего, а своим лицом зажать ему нос. После этого спасающий откидывается назад и делает новый вдох. В этот период грудная клетка пострадавшего опускается, и он произвольно делает пассивный выдох. Если пострадавший - взрослый, выдыхать следует сильнее, а если ребенок - слабее.

При невозможности полного охвата рта пострадавшего вдувать воздух в его легкие следует через нос, плотно закрыв при этом рот пострадавшего. У маленьких детей воздух вдувают одновременно в рот и в нос, охватывая своим ртом рот и нос пострадавшего. Вдувание воздуха в рот или нос можно производить через марлю, салфетку или носовой платок, следя за тем, чтобы при каждом вдувании происходило достаточное расширение грудной клетки пострадавшего. При наличии аппарата искусственного дыхания после проведения сеанса искусственного дыхания по способу “рот в рот” или “рот в нос” можно перейти на искусственное дыхание с помощью аппарата.

При возобновлении у пострадавшего самостоятельного дыхания некоторое время

следует продолжать искусственное дыхание, до полного приведения пострадавшего в сознание или до прибытия врача. В этом случае вдувание воздуха следует производить одновременно с началом собственного вдоха пострадавшего.

При выполнении искусственного дыхания необходимо избегать чрезмерного сдавливания грудной клетки ввиду возможности перелома ребер. При проведении искусственного дыхания нельзя также допускать охлаждения пострадавшего (не оставлять его на сырой земле, каменном, бетонном или металлическом полу). Под пострадавшего следует подстелить что-либо теплое, а сверху укрыть его.

17.3. Поддержание кровообращения в организме с помощью наружного (непрямого) массажа сердца

При отсутствии у пострадавшего пульса возможны следующие нарушения деятельности сердца:

- резкое ослабление или даже полное прекращение сокращений сердца, что бывает следствием длительного нахождения пострадавшего под действием тока, а также отсутствия своевременной помощи в случае первичного поражения дыхания;

- образование под действием электрического тока разрозненных и разновременных (фибриллярных) сокращений отдельных групп волокон сердечной мышцы, которое не могут обеспечить работу сердца в качестве насоса, нагнетающего кровь в сосуды, происходящих под действием переменного тока большой силы даже при непродолжительном нахождении пострадавшего под напряжением;

- в этом случае дыхание некоторое время после освобождения пострадавшего от действия тока может еще продолжаться, однако эффективность работы сердца при этом отсутствует.

Поэтому при отсутствии у пострадавшего пульса для поддержания жизнедеятельности организма (для восстановления кровообращения) необходимо независимо от причины, вызвавшей прекращение работы сердца, одновременно с искусственным дыханием (вдуванием воздуха) проводить наружный массаж сердца. При этом следует иметь в виду, что без правильной и своевременной предварительной помощи пострадавшему до прибытия врача врачебная помощь может оказаться запоздалой и неэффективной.

Наружный (непрямой) массаж производится путем ритмичных сжатий сердца через переднюю стенку грудной клетки при надавливании на относительно подвижную нижнюю часть грудины, позади которой расположено сердце. При этом сердце прижимается к позвоночнику и кровь из его полостей выжимается в кровеносные сосуды. Повторяя надавливание с частотой 60 - 70 раз в минуту, можно обеспечить достаточное кровообращение в организме при отсутствии работы сердца. Возможность такой имитации работы сердца представляется в результате глубокой потери мышечного тонуса (напряжения) у умирающего, вследствие чего, его грудная клетка становится более подвижной и податливой, чем у здорового человека.

Для проведения наружного массажа сердца пострадавшего следует уложить спиной на жесткую поверхность (низкий стол, скамейку или на пол), обнажить у него грудную клетку, снять пояс, подтяжки и другие стесняющие дыхание предметы одежды. Оказывающий помощь должен встать с правой или с левой стороны пострадавшего и занять такое положение, при котором возможен более или менее значительный наклон над пострадавшим. Если пострадавший уложен на столе, оказывающий помощь должен встать на колени рядом с пострадавшим. Определив положение нижней трети грудины, оказывающий помощь должен положить на нее верхний край ладони разогнутой до отказа руки, а затем поверх руки положить другую руку и надавливать на грудную клетку пострадавшего, слегка помогая при этом наклоном своего корпуса. Надавливание следует производить быстрым толчком так, чтобы продвинуть нижнюю часть грудины вниз в сторону позвоночника на 3 - 4 см, а

у полных людей - на 5 - 6 см. Усилие при надавливании следует концентрировать на нижнюю часть грудины, которая благодаря прикреплению ее к хрящевым окончаниям нижних ребер является подвижной. Верхняя часть грудины прикреплена неподвижно к костным ребрам и при надавливании на нее может переломиться. Следует избегать также надавливания на окончание нижних ребер, так как это может привести к их перелому. Ни в коем случае нельзя надавливать ниже края грудной клетки (на мягкие ткани), так как можно повредить расположенные здесь органы, в первую очередь печень. Надавливание на грудину следует повторять примерно 1 раз в секунду. После быстрого толчка руки остаются в достигнутом положении примерно в течение одной трети секунды. После этого руки следует снять, освободить грудную клетку от давления, с тем, чтобы дать возможность ей расправиться. Это благоприятствует присасыванию крови из больших вен в сердце и его заполнению кровью.

Для обеспечения организма достаточным количеством кислорода при отсутствии работы сердца следует одновременно с массажем сердца проводить и искусственное дыхание способом вдувания воздуха в легкие пострадавшего.

Поскольку надавливание на грудную клетку затрудняет ее расширение при вдохе, вдувание следует производить в промежутках между надавливаниями или же во время специальной паузы, предусматриваемой через каждые 4 - 6 надавливаний на грудную клетку. В случае, если оказывающий помощь не имеет помощника и вынужден проводить искусственное дыхание и наружный массаж сердца один, следует чередовать проведение указанных операций в следующем порядке: после двух - трех глубоких вдуваний в рот или нос пострадавшего оказывающий помощь производит 4 - 6 надавливаний на грудную клетку, затем снова производит 2 - 3 глубоких вдувания и опять повторяет 4 - 6 надавливаний с целью массажа сердца и т.д. При наличии помощника один из оказывающих помощь - менее опытный в этом вопросе - должен проводить искусственное дыхание путем вдувания воздуха как менее сложную процедуру, а второй - более опытный - производить наружный массаж сердца. При этом вдувание воздуха следует приурочить ко времени прекращения надавливания на грудную клетку или прерывая на время вдувания (примерно на 1 секунду) массаж сердца.

При равной квалификации лиц, оказывающих помощь, целесообразно каждому из них проводить искусственное дыхание и наружный массаж сердца, поочередно сменяя друг друга через каждые 5 - 10 минут. Такое чередование будет менее утомительно, чем непрерывное проведение одной и той же процедуры, особенно массажа сердца.

Эффективность наружного массажа сердца проявляется в первую очередь в том, что каждое надавливание на грудину приводит к появ-

лению у пострадавшего пульсирующего колебания стенок артерий.

При правильном проведении искусственного дыхания и массажа сердца у пострадавшего появляются следующие признаки оживления: улучшение цвета лица, приобретающего розоватый оттенок вместо серо-землистого цвета с синеватым оттенком, который был у пострадавшего до оказания помощи;

- появление самостоятельных дыхательных движений, которые становятся все более равномерными по мере продолжения мероприятий по оказанию помощи (оживлению);

- сужение зрачков.

Степень сужения зрачков может служить наиболее верным показателем эффективности оказываемой помощи. Узкие зрачки у оживляемого указывают на достаточное снабжение мозга кислородом, и, наоборот, начинающееся расширение зрачков свидетельствует об ухудшении снабжения мозга кровью и необходимости принятия более эффективных мер по оживлению пострадавшего. Поэтому может помочь поднятие ног пострадавшего примерно на 0,5 метра от пола и оставление их в поднятом положении в течение всего времени наружного массажа сердца. Такое положение ног пострадавшего способствует лучшему притоку крови в сердце из вен нижней части тела. Для поддержания ног в поднятом положении под них следует что-либо подложить.

Искусственное дыхание и наружный массаж сердца следует проводить до появления самостоятельного дыхания и работы сердца, однако появление слабых вдохов (при наличии пульса) не дает оснований для прекращения искусственного дыхания.

В этом случае, как уже указывалось выше, вдувание воздуха следует приурочить к моменту начала собственного вдоха пострадавшего. О восстановлении деятельности сердца у пострадавшего судят по появлению у него собственного, не поддерживаемого массажем регулярного пульса. Для проверки пульса прерывают массаж на 2 - 3 секунды, и если пульс сохраняется, то это указывает на самостоятельную работу сердца. При отсутствии пульса во время перерыва необходимо немедленно возобновить массаж. Длительное отсутствие пульса и ритма сердца при самостоятельном дыхании и узких зрачках указывает на фибрилляцию сердца. В этих случаях необходимо продолжение мероприятий по оживлению пострадавшего до прибытия врача или до доставки пострадавшего в лечебное учреждение при непрерывном продолжении мероприятий по оживлению в машине.

Следует помнить, что даже кратковременное прекращение оживляющих мероприятий (1 мин. и менее) может привести к непоправимым последствиям.

После появления первых признаков оживления наружный массаж сердца и искусственное дыхание следует продолжать в течение 5 - 10 минут, приурочивая вдувание к моменту собственного вдоха.

Литература

1. Цапенко Е.Ф, Шакундин С.З. Электробезопасность на горных предприятиях (для студентов высших учебных заведений)/ ЦапенкоЕ.Ф., Шакундин С.З. [2-е изд.] – М. – 2008. – 103 с.
2. Электротехнический справочник. Том 1.Общие вопросы. Электротехнические материалы/Алиев И.И.- М.:Энергия, 2006. – 480 с., ил.
3. Электротехнический справочник. В 3-х т. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы / Под общей редакцией профессоров МЭИ В. Г. Герасимова, П. Г. Грудинского, Л. А. Жукова и др. - 6-е изд., испр. и доп. - М.: Энергия, 1980. - 520с., ил.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ).-К.: Форт, 2009.-704 с.
5. НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безопасности в угольных шахтах.
6. Плащанский Л.А. Основы электроснабжения горных предприятий. Учебник для вузов. – 2-е изд. исправ. – М.: Издательство МГГУ, 2006. – 499 с: ил.

7. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

8. . Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 464 с.

9. Безопасная эксплуатация электроустановок: справ. пособие / под общ. ред. Е.Н. Татарова. - Н. Новгород: Вента-2, 1999. - 160 с.

10. ГОСТ Р МЭК 61140-2000. Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи.

11. Долин, П.А. Электробезопасность. Задачник: учеб. пособие / П.А. Долин, В.Т. Медведев, В.В. Корочков. - М.: Гардарики, 2003. - 213 с.

12. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок: справочник / В.Д. Маньков, С.Ф. Заграничный. - М.: Политехника, 2006 - 440 с.

13. Иванов, Е.А. Безопасность электроустановок и систем автоматики: учеб. пособие для студентов / Е.А. Иванов, В.Л. Галка, К.Р. Малаян. - СПб.: ЭЛМОР, 2003. - 381 с.

14. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. для вузов. - М.: Интернет инжиниринг, 2007. - 670 с.

15. Охрана труда: Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок: ПОТ РМ 016-2001, РД 153-34.0-03.150-00: правила вводятся в действие с 1 июля 2001 г. - М.: Инфра-М, 2005. - 152 с.

16. Электротехнический справочник. В 4 т. Т. 2. Электротехнические изделия и устройства / под общ. ред. В.Г. Герасимова. - М.: Издательство МЭИ, 2003. - 518 с.

17. Маренич К.М. Автоматическая защита электрооборудования шахт от аварийных состояний и опасностей: учеб, пособ. для высш. учеб. завед./К.М. Маренич, И.В. Ковалёва. – Донецк: ГВУЗ «ДОННТУ», 2013. – 209 с.

Электробезопасность горного производства.

Вопросы к проведению зачёта

1. Классификация электроустановок
2. Категории электроприемников по надежности электроснабжения
3. Напряжения сети в зависимости от назначения устройства
4. Действие электрического тока на организм человека

5. Пороговые значения переменного и постоянного токов
6. Виды поражения человека электрическим током
7. Схема замещения сопротивления человека
8. Классификация помещений по электроопасности
9. Виды прикосновения к электрической сети, Степень опасности
10. Средства защиты от поражения электрическим током
11. Сущность защитного отключения
12. Защитное заземление- защитное зануление, принцип устройства, составные части
13. Типы сетей с заземленной нейтралью (стандарт МЭК 60634-5-54)
14. Физический смысл заземления нейтралей
15. Классификация средств защиты от поражения электрическим током
16. Классификация рудничного электрооборудования
17. Рудничное нормальное электрооборудование, обозначение, использование
18. Рудничное взрывозащищенное электрооборудование, обозначение, использование
19. Причины возникновения токов короткого замыкания
20. Виды защит от токов короткого замыкания
21. Защита электрооборудования от перегрузок
22. Условия и причины возникновения пожаров от электрического тока
23. Мероприятия по предупреждению пожаров от электрического тока
24. Способы тушения воспламенившегося электрооборудования
25. Как обеспечивается искробезопасность электрической цепи
26. Бронированные кабели. Назначение, область применения
27. Гибкие кабели. Назначение, область применения
28. Понятие о коммутации. Основные узлы коммутационных аппаратов
29. Как осуществляется дугогашение в коммутационных аппаратах
30. Защита коммутационных аппаратов при повреждении изоляции отходящих кабелей. Схема блокировочного реле утечки
31. Виды защиты шахтных электроустановок напряжением до 1000 В
32. Максимальная токовая защита, назначение, применение
33. Тепловая защита, назначение, применение
34. Минимальная защита, назначение, применение
35. Устройство автоматического контроля сопротивления изоляции
36. Аппараты защиты от токов утечки (АЗАР), назначение, применение
38. Воздействие переменных защитных полей на человека
39. Нормирование электромагнитных полей. Методы защиты.
40. Основные виды аппаратуры защиты шахтных электроустановок напряжением 1140

41. Автоматический выключатель. Назначение
 42. Дайте определение аварийному режиму. Заземление как вид защиты..
 43. Защитное отключение, назначение, физическая сущность.
 44. Внешняя система молниезащиты, виды, виды, элементы.
 45. Внутренняя система молниезащиты. Классификация.
 46. Освобождение от электрического тока
-
47. Требования безопасности при оказании первой помощи пострадавшему от электрического тока.
 48. Правила производстве искусственного дыхания и наружного массажа сердца